マッチングを考慮した交通市場メカニズムに関する理論的研究(Dissertation_全文)

AUTHOR(S):

松島, 格也

マッチングを考慮した交通市場メカニズムに関する理論的研究

2003年11月

松島　格也

目 次

1　序論

1.1　はじめに

現代都市においては多くの人々が生活している．人々が都市に集まって生活することのメリットのうちもっとも大きいものは，そこに住む人々がそれぞれ持っている知識やアイデアを交換することにより得るものである．すなわち，多くの人から自分が持っていない知識やアイデアを獲得し，また自らも相手にその相手が持っていない知識やアイデアを与えることで，お互いがそれぞれの効用を高めることが可能となる．様々な価値観を持つ多くの人と接触することで自らの知的満足度を高めることができる．多くの人々が生活している大きな都市には，より多くの数の，そしてより多くの種類の知識やアイデアが集積している．各個人が所有しているアイデアや知識を交換することの容易さが，大都市における集積の経済という外部性を形成している．そしてこのような知識やアイデアの交換のための手段として人々は日々多くの人と出会っている．すなわち，フェイス・ツゥ・フェイスのコミュニケーションが行われている[1)]．

フェイス・ツゥ・フェイスのコミュニケーションを行うためには，個人と個人とがマッチングされる必要がある．このような人々のマッチングの結果として，マッチング相手に出会うための交通トリップが発生する．これまでの多くの交通行動研究は，社会・経済システムの現象を個々人による独立な行動に還元し，それを集計化するという方法論に基づいている．すなわち方法論的個人主義の立場に立っている．その結果，人々が互いに時間を調整し，同一の場所・時間に集合する個人間の意思決定の相互作用を捨象してきた．一人一人の個人がそれぞれ独立に生活し行動している世界を仮定すれば，このモデル化の方法が適用されうるであろう．しかし，現代社会においては，いかにして個人間の意思決定の相互作用を表現しうるかが，複雑に入り組みあっている交通行動を表現する上での重要なポイントとなる．一見，単一の個人の自由意思の結果として生じているように見える交通トリップも，マッチング形成の結果として生じているということに着目しなければならない．交通トリップが生成するメカニズムを検討するためには，個人間のコミュニケーションに焦点をあてた交通行動分析を行う必要がある．

従来の他人の意思決定の結果が個人行動に及ぼす影響を考慮した研究としては，以下の様なものが挙げられる．確率的ネットワーク均衡[2),3)]や合理的期待均衡[4),5)]においては，個人行動の結果はネットワークレベルのパフォーマンスを通じて，集計化された形で個人の効用に影響を及ぼすように取り扱われてきた．さらに，個人の意思決定の相互作用を明示的にモデル化するアプローチがいくつか提案されている．小林等[6)]はランダム・マッチングモデルを通じた個人間の意思決定の相互作用をモデル化している．また森川等は他人の効用水準がreference pointとなり自らの効用に影響を及ぼすようなランダム効用モデル[7),8)]を提案している．だがこれらの研究は個人の交通行動分析のレベルにとどまっており，システム全体での均衡を定義できるような一般的な内容を持ち合わせていない．

表1.1は人的ネットワークと交通ネットワークの構成要素を整理したものである．同表からわかるように，交通のネットワークと人的ネットワークとの間には密接な関係が存在する．フェイス・ツゥ・フェイスのコミュニケーションはミーティングを形成する過程として表現される．人的ネットワークにおいてノー

表 **1.1**　交通ネットワークと人的ネットワークの構成要素 (小林[10]に加筆修正)

	交通ネットワーク	人的ネットワーク
ノード	出発地・到着地	個人
リンク	道路	ミーティング
インプット	トリップ需要	アイデア・友情等
アウトプット	実現トリップ	アイデアの進歩・友情等の深化
観測可能変数	交通トリップ	ミーティング回数
状態変数	交通条件	アイデア，友情等の機能
目的変数	旅行時間，コスト	知識，アイデアの交換
メディア	交通手段	議論
活動距離	長距離	短距離

ドとしての役割をもつ個人は，交通ネットワークのリンクを移動してミーティングを行う．また人的ネットワークにおけるミーティング回数と交通ネットワークにおける交通トリップがともに観測可能変数であることより，交通トリップがミーティング形成の結果として生じることが，この表から見て取れるであろう．このように人的なネットワークと交通ネットワークは密接な関係を持っている．

ひとたび生成する交通トリップの背後にあるコミュニケーションを考えると，従来の交通行動分析が重要な視点を捨象してきたことがわかる．コミュニケーションを行うために必要なマッチングを形成するためには，参加する主体が事前にマッチング形成に合意する必要がある．個人間の意思決定に相互作用が働く場合，マッチングが形成される過程には外部性が発生する．多くの交通トリップ生成にまつわる外部性に関する研究がこれまでに対象としてきたのは混雑現象である．しかし，**1.3** 以降で順次述べていくとおり，混雑以外にも様々な種類の交通行動に関連する外部性が存在する．これまでの交通トリップ生成メカニズムに関する研究において，個人間の意思決定の相互作用から生じる外部性を議論したものはほとんどない．

本論文では，個人間の意思決定の相互作用を考慮した均衡モデルを構築し，マッチングの派生需要として生じる交通に関する諸問題を分析する．個人間のコミュニケーションメカニズムの分析や，様々な交通市場を対象とした理論モデル構築を通じて，そこに生じる外部性の存在を指摘する．さらに，外部性を解消するために導入する方策について検討することとする．本章ではまず交通トリップ生成の源となるマッチングについて言及すると共に，交通に関わる外部性を整理する．

1.2　マッチングの派生需要としての交通

1.2.1　交通行動とマッチング

ドライブやサイクリングなどを別として，移動自体を目的とした交通行動はほとんどない．何らかの行動の派生需要として交通行動をとらえるべきである．特に，人々は移動する際に何らかの形で他の人々とミーティングことを目的としていることが多い[9]．ミーティングを行う際には参加する全ての主体が当該ミーティングの開催に合意することが必要となる[10]．すなわち一方の主体のみがミーティングの開催に合

意したとしても当該のミーティングが必ずしも開催される保証はない．ミーティングが開催されない場合，そのミーティングに付随する交通トリップも生成しない．これは個人が交通トリップを実施するどうかの意思決定に関して他人の意思が関与することを示している．

ミーティングに参加する両者がミーティングの開催に合意すると，少なくともどちらか一方がマッチング相手と出会うために交通行動を実施する．交通行動のうち最も根元的なものは，移動する主体自ら生産した交通サービスを自ら消費するという形式のものである．しかし，交通サービスを生産する能力は個人によって大きく異なるであろう．自ら移動することが困難な場合や何らかの事情により自分で交通サービスを生産できない場合，他人もしくは企業が提供する交通サービスを消費することになる．家族や知人による送迎やタクシーの利用などがこのケースに該当しよう．こういった交通行動は，交通サービスの提供主体（供給側）と交通を実施する主体（需要側）とのマッチングが重要な役割を果たす.

さらに人々の交通に対する需要が多様化し，また需要の絶対量が増加すると，個別に自ら生産した交通サービスを消費する，という形のみでは全ての交通に対する需要をまかなえなくなる．そこで交通サービスの供給主体は，複数の個人の交通需要を集計した交通サービスの提供することを考えるであろう．このような不特定多数の需要を集めて提供される交通サービスとして，バスや鉄道，航空機などがある．これらは通常公共交通をよばれているものである．複数の個人の交通に対する需要を集約化した公共交通が実施されるためには，個人間の利害の調整する必要がある．すなわち個人間の交通トリップ生成に対する需要のマッチングを行わなければならない．このとき実際に交通サービスを利用する個人間で直接需要に関する利害の調整（coordination）を行うことには多大な取引費用を必要とする．公共交通サービスの提供にあたって政府が果たす大きな役割の一つは，個人間で対立する利害の調整である．

1.2.2 空間的マッチングと時間的マッチング

実際に生成している交通トリップを観察すると，このようなマッチングは非常に多くの場面において観察できることが分かる．交通サービスに関する市場取引が成立するためには，市場へ参加する主体が移動費用（取引費用）を支払ってサービス取引が行われる場所へ実際に移動する必要がある．交通サービスに関する市場取引が成立するためには，電話や電子メール等の情報通信手段を用いて取引相手に関する情報を交換する場合もある．しかし，その情報交換の結果，実際に交通トリップを生成させる際には，参加する主体（の少なくとも一方）が移動費用を負担して交通行動を行う．参加する主体が移動して交通サービスに関する取引が行われる場合，事前に取引が行われる場所に関して調整を行い，全ての市場参加主体がその開催場所の決定に合意する必要がある．すなわち取引に参加する主体に関して空間的なマッチングを行わなければならない．このようなマッチングとしては，キスアンドライド型の交通トリップにおける送迎者と被送迎者のマッチングや，過疎地域における公共交通の維持方策としての相乗りシステムに関する複数の交通サービス消費者同士のマッチングなどが該当しよう．

コミュニケーション実施のために生成される交通トリップに関してもう一つ考慮すべきマッチングは，ミーティングを行う時刻の調整である．たとえば，会議や打合せを行うためには日程調整を通じた時間的

表 1.2　マッチングパターンの分類

	主体間マッチング		主体内マッチング
	個人と個人	個人と企業	
空間的マッチング	２章，３章	４章	−
時間的マッチング	２章，３章	−	５章

なマッチングが行われる．また時間的集積の経済性[11)]が働く企業は，自社の従業員を同じ時刻に一斉に労働させるインセンティブを持つ．すなわち自社の労働者の始業時刻（及び終業時刻）を同一にするほうが当該企業にとって望ましい．また他社との業務上のコミュニケーションを行う場合には，自社内の労働者の始業時刻を一致させるだけにとどまらず，自社の始業時刻を関連する他社の始業時刻と一致させようとするであろう．こういった企業の始業時刻の設定問題は，通勤トリップの出発時刻選択や交通手段選択に影響を及ぼす．すなわち時間的なマッチングが交通の生成に重要な役割を果たすことになる．フレックスタイム制や時差出勤制の導入検討は，このような時間に関するマッチングの集中化と分散化といった観点から分析する必要がある[12)−14)]．

1.2.3　主体間のマッチングと主体内のマッチング

もう一つのマッチングに関わる要素として，異なる主体間におけるマッチングと同一主体内におけるマッチングという分類をとりあげる．通常マッチングとして想定されるのは，個人と個人，企業と個人など，異なる主体間のマッチングである．個人間のコミュニケーションは知識の交換に重要な役割を果たすが，コミュニケーションが成立するためには事前にミーティング相手とマッチングされる必要がある．また個人が公共交通を利用する場合には，バスとその利用者，鉄道とその利用者を時間的・空間的にマッチングさせなければならない．

その一方で，ある一人の主体の意思決定に関するマッチングも存在する．たとえばある主体が交通トリップを生成する場合，当該トリップには通常往路と復路が含まれる．主体はトリップを行う前に，往路と復路における交通手段を事前に決定する場合が多い．たとえば往路にバスや鉄道の公共交通を利用してトリップを行った場合，復路に自家用車を利用することはできない．もちろん往路に自家用車を利用した場合には復路においてもその自家用車を利用して自宅まで戻ってくる必要があろう．すなわち各主体は往路の交通手段と復路の交通手段とのマッチングをおこなってトリップの実行を決定する．

1.2.4　マッチングパターン

以上において分類したマッチングの特徴をパターン化すると，交通に関するマッチングは**表 1.2** のように整理することができる．一つの論文の中で全てのマッチングを取り上げることは不可能であるが，本論文では，個々の主体による交通生成の背景に存在するコミュニケーション行動から，交通行動を実施する

意思を持つ複数の主体間のcoordinationを行ってサービスを提供する公共交通にいたるまで，交通行動に関するマッチングを**2章**以降で取り上げることとする．

他人の意思が自らの交通トリップの生起に関与する場合，実現する交通トリップ数はパレートの意味で最適な状態になっていない可能性が高い．自らが行いたいと思うトリップの水準よりも，実現するトリップの水準は低くなっているだろう．個人として，また社会的の望ましい水準のミーティングを実現させるためには，交通政策の導入や新しい技術開発等を通じたミーティング水準適正化のための努力が必要となる．自らの交通行動の決定にミーティング相手など他人の意思が関与することに起因して，ミーティング形成のために実施される交通行動には外部性が存在する．交通に関する外部性の問題は，ともすれば混雑現象と自動車交通がもたらす社会的費用に関する議論に終始していた感が否めない．交通トリップ生成にまつわる外部性に関しては次節で詳しく述べるが，これらの外部性をいかに補正するかについてより詳細な分析が必要となろう．

1.3　交通市場における市場の失敗

前述したように，ミーティングにおける双方合意の必要性を考慮した場合，各主体は自らの意思だけで交通トリップを発生させることはできない．トリップを行うかどうかの意思決定には，他人の意思が関与する．このような個人間の意思決定の相互性に起因して，交通トリップ生成に関わる市場は必ずしも効率的になるとは限らない．すなわち市場の失敗が生じうる．市場の失敗とは，1) 完全競争，2) 市場の普遍性，3) 凸環境，のうち少なくとも一つが満足されないときに生じる[15)]，と定義される．これら三つの条件は互いに排他的ではない．本論文ではこれら市場の失敗が生じる要因として，外部性（externality）と規模の経済（economies of scale）という二つの概念に着目する．

外部性とは,「市場機構に包摂される経済活動が，市場機構の枠組をはみ出す効果を他の経済主体に対して付随的に及ぼしてしまう現象」[15)]を指すと定義される．他の経済主体の行動が当該経済主体の技術条件や嗜好を変えることによって生じる外部性を技術的外部性（technical externalities），当該経済主体の関係する財・サービスの価格を変えることによって生じる外部性を金銭的外部性（pecuniary externalities）と呼ぶ．すなわち前者はある経済主体の行動が市場を通じないで他の経済主体に影響を与える外部性，後者はある経済主体の行動が市場を通じて波及する外部性を指す.

一方規模の経済性とは，生産の平均費用が産出量の拡大につれて減少する場合に生じる．生産技術に不可分性が存在する場合，企業の限界生産性が逓増し，生産を増加させるとともに生産性が増大する．規模の経済性は様々な要因により発生するが，本論文では固定費用及び後に説明する手段補完性が要因となるケースについて言及する．

以下では交通行動に関連する市場の失敗を生み出す要因として1) 混雑という技術的外部性，2) 市場厚の外部性という金銭的外部性，3) 固定費用に伴う規模の経済性，4) 手段補完性に伴う規模の経済性，という四つをとりあげて以下に説明を加える．

1.3.1　混雑

交通に関する研究において考慮されている外部性として，混雑がある．近年の環境問題への高まりを背景に，CO_2排出量などの環境に関する外部性を考慮した研究[16)−18)]などが見受けられるものの，大半の外部性の内部化に関する研究は混雑現象に着目したものであるといえよう．Mohring and Harwitz[19)]は費用関数のゼロ次同時性などの一定の条件が満たされた場合，混雑料金の徴収により最適道路整備が実現されることを示している．具体的な徴収方法など技術的な問題はいくつか残されているものの，混雑は適切な課税を行うことにより解消される．すなわち混雑現象という外部性は適切な税金の賦課により内部化することができうる．課税による外部性の内部化に関しては，後に**1.5.1**で言及する．

道路混雑は道路の利用技術に起因して生じる技術的外部性である．道路利用者が増加すれば，走行時間が増加するという外部不経済が発生するが，規模の経済性は存在しない．道路利用者が増加すれば，全ての道路利用者の速度が低下する．道路混雑は，ポジティブフィードバックの原因にはならないが，市場均衡の効率性に影響を及ぼす.

一方個人間の意思決定の相互作用に起因する，マッチング行動に付随する外部性としての混雑も存在する．各主体がマッチングを繰り返し行う市場に多数の個人が参加してマッチングをより頻繁に行うようになると，当該市場にマッチング相手となりうる相手が少なくなるという混雑が生じ，結果としてマッチング相手を探索するために必要な費用が高くなる．交通トリップが生成する要因としてのコミュニケーションに着目したとき，この外部性はその本質的なものである．マッチング市場における混雑の問題は**2章**においてとりあげる．

1.3.2　市場厚の外部性

市場厚の外部性とは，市場に参加する主体が増えると探索費用が節減できることから生じる外部性である．マッチング市場を考えた場合，市場参加者がより頻繁にミーティング相手を探索するようになると，ミーティング相手と出会う確率も高くなる．そのような状況において他の参加者のとるべき戦略は，自らも探索強度を高めてミーティング相手を探索することである．このような現象はタクシー乗り場の市場[20)]など，マッチング行動を含む多くの交通現象に表れるものである．本節で述べた市場厚の外部性は，後に述べる戦略的相補性[10),27)−30)]の考え方と密接に関係している．

市場厚の外部性は市場参加主体による探索行動の結果生じることが多い．Diamond[21)]を始めとした財の交換過程を通じて貨幣の役割を説明する貨幣経済学の分野における研究や，Mortensen[22)]による職の探索モデルに関する先駆的な研究に始まる労働経済学の分野における研究など，関連する多くの研究[23)−25)]が行われている．これら一連の研究においては，各主体はマッチングを通じて効用を獲得し，そのために必要な探索行動を各主体が行っている．本研究においても，**2章**から**4章**まででマッチング相手の探索行動を取り扱った交通行動に関する理論モデルを紹介している．

その一方で，市場参加者が減少することを通じて外部的な不利益を被る場合，市場薄の外部性が生じることになる．たとえばフェイス・ツゥ・フェイスのコミュニケーションに着目した場合，ミーティング相手

を選別することから市場薄の外部性が生じうる[9)]．より魅力的なミーティングを実現しようとすれば，ミーティング相手を発券することは困難となる．これはミーティング市場においてミーティングを取引する相手が少なくなる外部性である．

1.3.3　固定費用

交通企業の経営には，交通サービスを提供するために必要な固定費用が存在する．交通サービスの可変費用が一定であれば，サービスの利用者の増加により利用者１人当たりが負担する固定費用は減少する．規模の経済性が生じる最も大きな原因は固定費用である．交通企業は経営の合理化を通じて固定費用の削減が可能である．固定費用に対して補助金を支出すれば，固定費用の存在による規模の経済性は解消する．本研究では，４章及び５章において固定費用が市場均衡にもたらす影響に関して考察する．

1.3.4　手段補完性

通常家計がトリップを行う際，往路と復路で同一の交通手段を選択する[26)]．たとえば出勤の際に自家用車を運転した場合には帰宅時にもその自動車を運転して帰る必要がある．また複数の経路を利用できる一部の都心居住者等をのぞいて，公共交通を用いて通勤を行っている家計の多くは往復のトリップを同じ経路で行っていよう．こういった往路・復路における交通手段を同時選択することにより，各主体の交通行動には往路，復路トリップにおける交通手段の選択が，いま一方のトリップにおける手段選択に影響を及ぼすという技術的外部性が存在する．すなわち，往路，あるいは復路におけるバスの利用可能性が増加すると，もう一方のトリップにおけるバスの利用可能性も増加するという戦略的相補性が存在する．このような手段選択における戦略的相補性により生じる規模の経済性を手段補完性と呼ぶ．本研究では，５章においてバス市場における手段補完性のメカニズムを分析する．

1.4　戦略的相補性と調整の失敗

前節では交通トリップ生成に関連して発生する市場の失敗を整理したが，そこでの一つの重要なキーワードは戦略的相補性（戦略的補完性）の考え方である．戦略的相補性の概念は経済学のいくつかの分野で用いられている．たとえば，比較制度分析[31)−39)]の分野においては,「一つの制度が安定的な仕組みとして存在するのは，社会の中である行動パターンが普遍的になればなるほど，その行動パターンを選ぶことが戦略的に優位となり，自己拘束的な制約として定着するからである」[32)]といった形で，制度の戦略的相補性を取り上げている．また協調ゲームを用いたマクロ経済分析[27)]においては，他の主体の戦略の変化（特により高い利得をもたらしうる戦略への変化）が，自らが同様の戦略を採用するためのドライビングフォースとなるようなポジティブフィードバックメカニズムの特徴を戦略的相補性と定義し，その考え方に基づいて様々なマクロ経済の現象を説明している．

近年では，たとえばOomes[39)]が雇用における戦略的相補性を考慮したモデルを用いて，労働市場におけるマッチングの問題を分析している．戦略的相補性の関係を持つゲームについてはまずTopkis[40),41)]によ

るsupermodular gameという概念が提案された．複数の経済主体が存在する際に一方の主体の戦略的な行動が他方の主体が獲得する利得に影響を及ぼす場合，戦略的な外部性が生じるという．一方の戦略的行動が他方の限界利潤を増加させる場合を戦略的相補的な関係，減少させる場合戦略的代替的な関係にあるという．この戦略的相補性という概念は，マクロ経済学における調整の失敗の問題や寡占市場における問題など，多様な分野において表れる[33)]．

通常経済学における補完性の定義は，２財の消費を考えるときに「第２財の価格が上昇するとき第１財の需要量が減少するならば，第１財は第２財に対して補完財である」[42)]とされている．この補完的な関係は一方の主体の行動の変更が他の主体の絶対値（この場合は消費量）に影響を及ぼすことになる．それに対して戦略的補完性の概念は，一方の主体の行動の変化が他の主体の限界的な値の変化に影響を及ぼす場合の考え方に基づいて定義される．以下に，具体的な定義を見てみよう．

1.4.1 定義

本項ではBulow *et al.*[43)]にしたがって戦略的相補性を定義しよう．二つの生産企業A,Bを考える．企業Aは財１と財２の二財を，企業Bは財２のみを生産しており，したがって市場１では企業Aが独占企業として振る舞い，市場２は寡占市場として機能している．両企業は各市場における生産量S_1^A, S_2^A, S_2^Bを全て同時に決定する．両企業が獲得する利潤をそれぞれ，$\pi^A(S_1^A, S_2^A, S_2^B, Z)$，$\pi^B(S_2^A, S_2^B)$と表そう．ここに$Z$は市場１における収益性を表す変数であり，外政的に決定される．このとき，もし$\frac{\partial^2\pi^B}{\partial S_2^B S_2^A}$が負の符号をもつなら企業$B$はその生産を企業$A$に対して「戦略的代替」であるとみなし，逆に$\frac{\partial^2\pi^B}{\partial S_2^B S_2^A} > 0$が成立するなら企業$B$はその生産を「戦略的相補」であるとみなす．したがって戦略的代替の関係にある場合には，企業Aが生産量を増加させたときの企業Bの最適反応は生産量を減らすことであり，一方戦略手相補の関係にある場合には生産量を増加させることが最適反応になる．

1.4.2 Cooper-Jonesモデル

前項のように定義された戦略的相補性の考え方をもとに，Cooper and John[44)]は調整ゲームを用いて様々なマクロ経済学における現象を説明している．以下ではCooper and Johnモデルを通じて，具体的に戦略的相補性が経済現象にどのような役割を果たすのかについて考察する．

主体$i(i = 1, \cdots, I)$が戦略$e_i \in [0,1]$を選択する状況を仮定しよう．この戦略e_iは主体iの活動レベルを表しており，マッチングモデルにおける探索強度，市場均衡モデルにおける生産量などに該当する．全てのI人の主体はそれぞれ非協力的に努力水準を選択する．他の全ての主体が戦略e_{-i}を採用し，自らが戦略e_iを採用したとき主体iが獲得する利得を$\sigma(e_i, e_{-i}, \theta)$と定義しよう．ここに$\theta$は利得に関するパラメータである．利得は自らの努力水準に関して強凸であるとする．すなわち$\sigma_{11} < 0$である．以降，下付き文字$_j$ $(j = 1,2,3)$はそれぞれe_i, e_{-i}, θに関する偏微分を表している．以降では対称的なナッシュ均衡を考え，利得を$\sigma(e_i, e, \theta)$と表現しよう．このゲームのナッシュ均衡解は以下のように定義される．

$$\xi(\theta) = \{e \in [0,1] | \sigma_1(e, e, \theta) = 0\} \tag{1.1}$$

このゲームにおいてもし$\sigma_{12} > 0$が成立するならば当該ゲームは戦略的相補の関係にあるといい，一方$\sigma_{12} < 0$が成立するならば戦略的代替の関係にあるといわれる．ゲームが戦略的相補の関係にあるとき，他の全ての主体が戦略e_{-i}を増加させた場合の最適反応は自らもe_iを増加させることでなる．この戦略的相補の関係が，複数のナッシュ均衡解が存在するための必要条件となる．また存在する複数の均衡解はそれぞれ，パレートの意味でランク付けすることができる．すなわち，I人の全ての主体が努力水準eを増加させた場合の均衡解の方が，全ての主体がより低いレベルの努力水準を採用した場合の均衡解よりもパレートの意味で上回っていることになる．このようなゲームを考えると，次項において述べる調整の失敗が生じうることが分かる．歴史的依存性により，パレート劣位な均衡解にロックインされてしまう可能性が否定できない．

さらに，パラメータθが均衡解に及ぼす影響も分析することができる．もしある特定の主体iの環境に何らかの変化が起こった（θ_iが変化した）場合，たとえその変化が主体iのみに対して起こったとしても他の全ての主体の活動水準を変化させうる．すなわち戦略的相補性の特徴をもつゲームでは，たとえ状況の変化がごく一部の主体にのみ起こったとしても，結果として全ての主体の活動水準を変化させる可能性があることを示唆している．具体的な政策への適用に関しては既往の文献[44)]に譲るが，このような特徴を持つ戦略的相補性を伴ったモデルを用いて，生産関数やマッチング技術，不完全競争市場や複数部門における需要関数など，様々な分野の分析を行うことが可能である．

1.4.3　交通行動における戦略的相補性

では，本研究で対象としている交通行動を考えたときに，どのような場面において戦略的相補性が表れるのであろうか．交通サービスを消費したいと考えている主体（需要側）と，交通サービスを提供する主体（供給側）とがマッチングされることにより成立する交通を考えよう．交通サービス取引が行われるためには，双方の主体がサービス取引市場に参加する必要がある．ある市場に関して，多くの供給主体が参加しているために，需要側が当該市場を利用すれば容易にサービスを利用できると考えていると仮定しよう．そういった憶測を需要側の主体が抱いている場合，実際に頻繁にその市場を訪れてサービスを享受しようとするであろう．同様に供給側の主体も当該市場を利用すれば容易にマッチング相手である需要側の主体を見いだすことが可能であると想定しているとする．こういった予想をする供給側の主体もやはり当該市場を頻繁に訪れる．

このような供給側と需要側によるマッチング相手の市場参加状況に関する予想は，実際に双方の市場参加者数を増加させる．すなわちより多くの主体が市場に参加すれば容易にマッチング相手を見つけ出すことができる．このような関係が成立するとき，当該の市場における市場参加者の戦略間には戦略的相補な関係が存在している．このような戦略的相補性が働くマッチング市場ではポジティブフィードバックメカニズム[20)]が働き，複数の均衡解が生じる可能性がある．一方低い需給関係に関する予想も同じく自己実現的である．供給側と需要側がともに低調なマッチング相手の市場参加を想定する場合，両主体とも当該市場を訪れないようになる．本論文においては**4章**でタクシー市場を取り上げて戦略的相補性が生じる交通

		Player B	
		1	2
Player A	1	1,1	1,0
	2	0,1	2,2

図 1.1 調整ゲーム

行動を分析する．

1.4.4　調整の失敗

1.4.2 において説明を行ったモデルのような複数のナッシュ均衡解が存在する市場を想定した場合，調整の失敗という外部性が生じうる．マッチングを対象として考えてみると，これは自らが望むマッチングの相手と必ずしもマッチングされないことから生じる外部性のことである．**図 1.1** に示すような単純な調整ゲームを考えよう．よく知られているように純粋戦略のみを考慮した場合，このゲームには (1,1) と (2,2) の２つのナッシュ均衡解が存在する．また明らかに (2,2) の方がどちらの主体にとっても望ましく，パレート効率的な均衡解である．しかし，いずれの均衡解に達するかはそれぞれの主体の予想や歴史的経緯に依存する．結果生じた均衡解がパレート劣位な均衡解（このゲームのケースでは (1,1)）であった場合，調整の失敗が生じているという．

ミーティングを通じたコミュニケーションを考えてみよう．異質な個人間でのランダムマッチングを想定したゲームにおいては，通常複数の均衡解が生じうる．マッチングが全く行われない均衡解，ある特定のタイプの主体のみがマッチング相手の探索行動を行う場合，全てのタイプの主体がマッチング相手の探索行動を行う場合等，様々な種類の均衡解が存在するが，ミーティングの形成が多いほどパレート効率的な均衡解である．また，マッチングを行いたくないと考えているタイプの主体に対してマッチングの申し込みを行ってしまう主体が存在するという，非効率な状況が生じる．調整の失敗による外部性を解決する一つの方法は個人に関する情報を提供することである．情報提供が行われればミーティングを行いたくないと考える相手とマッチングされるという，調整の失敗に伴う非効率性は解消される．しかし，社会全体でパレート劣位の均衡に陥るというマクロなレベルでの非効率性を解決するにはいたらないことが示されている[45)]．本研究では **3 章**においてミーティング均衡における調整の失敗が生じるメカニズムについて分析する．

1.5　市場の失敗の解決法

これまでに述べたような外部性が生じたり規模の経済性が働く市場においては，市場メカニズムのみではパレート効率的な均衡解が達成されない．すなわち外部性や規模の経済性に起因する市場の失敗が生じうる．市場が失敗する状況においては，政府の果たす役割が重要となる．本節では市場の失敗を内部化する方策について検討する．

1.5.1 外部性の内部化

市場において生じる外部性を内部化するために，外部性が生じている部分に税金を課すことにより，市場の失敗を解消する方法である．すなわち外部性を生み出す生産要素にピグー税[46)]を課すことで市場機構を補正するものである．交通問題において最も顕著な例は混雑料金[47)]である．

道路利用者は通常自らの参加による他の道路利用者への影響を考慮せずに行動する．ある主体が私的便益を獲得するために当該の道路を走行するとその結果社会的費用が増加し，他の主体へは負の影響を及ぼす．結果として社会的限界便益が私的限界費用と一致する水準まで交通量は増加する．通常社会的限界費用曲線と私的限界費用曲線との間には乖離があり，均衡点においてはこの乖離に起因する死荷重（デッドウェイトロス）が発生している．この死加重を取り除き，社会的限界便益と私的限界便益とが一致するように賦課すべき料金が混雑料金である．

混雑料金の導入により利用者は混雑料金分を余計に負担する一方道路混雑が緩和されることにより便益を得る．通常混雑料金による負担が混雑緩和の便益を上回るため，利用者にとっての厚生は低下する．しかし，混雑料金による料金収入がこの低下分を上回るため社会全体で考えれば厚生が改善される．混雑料金導入に伴って発生する料金収入の適切な使い道を検討することが混雑料金導入のための重要な鍵となる．混雑料金の導入による外部経済性の内部化に関しては多くの先行研究[48)]が行われており，本研究では取り上げない．

1.5.2 情報提供

市場がパレート効率的ではない状況にある場合，何らかの形で市場参加主体へ情報提供を行うことによりその非効率性を解消できる可能性がある．情報提供が交通行動に及ぼす影響については数多くの研究が行われているが，それらの結論として必ずしも情報提供が社会的に望ましい状況をもたらすとは限らないことが指摘されている[49)]．ここではマッチングに関する情報提供の問題を考えてみよう．マッチング相手を探索している状況で，当該主体は潜在的に自らのマッチング相手となる主体に関する全ての情報を持つわけではない．通常きわめて限定合理的な判断のもとに探索行動を行っているであろう．そのため必ずしも当該主体にとって最適なマッチング相手とマッチングできるわけではない．

そこで政府がマッチング相手に関する情報提供を行うことにより，参加主体の探索行動を助けることを考えよう．もし潜在的なマッチング相手に関する完全情報が手に入ったとすると，当該主体にとって最も望ましい相手を知ることができる．しかし，自らにとって最も望ましい相手が分かったからといってその相手と必ずマッチングできる保証はない．マッチング相手の探索行動は，参加する主体がどのような期待を持つかに影響される．もしある市場に参加する全ての主体が，他の主体が探索をほとんど行わないであろう，という期待を持っていたとすると，当該主体に自ら探索行動を起こすインセンティブは存在しない．なぜならば当該市場において自分一人だけが探索行動を行ったとしてもマッチング相手を見つけ出すことは不可能だからである．

このように情報提供は必ずしも主体の交通行動へ望ましい影響をもたらすわけではない．本研究において

は３章において，異質な主体が参加するマッチング均衡において情報提供が及ぼす影響について分析する．

以上の２つは外部性の内部化のための方策である．一方で，直接的に政府が市場構造を変化させる方策を導入することも考えられる．すでに述べたように，外部性が存在するために戦略的相補性が働く市場においては，通常複数の均衡解が存在する．いずれの均衡に落ち着くかは，外部パラメータの初期条件によって決定される．いったん劣位の均衡に陥った場合，自然にそこから抜け出すことは難しい．前節で述べた外部性を内部化するためのピグー税の導入も政府の役割の一つであるが，このような状態にある場合によりパレート効率的な状態へ移行させるのが政府のもつ大きな役割である．ここでいう政府の役割としては，複数の均衡間での移動する場合と，根本的に市場の構造を変化させる場合の２つが存在する．

1.5.3　複数均衡間の移動

前節で述べた外部性が存在する市場には，通常複数均衡解が存在する．複数均衡のうちのパレート劣位な均衡にロックインされている場合，市場メカニズムを通じてパレート劣位の均衡から優位の均衡へ移動するのは難しい．今，二つの安定均衡解（と一つの不安定均衡解）が存在する市場を考えてみよう．二つの安定均衡解はパレート劣位な均衡Aとパレート優位な均衡Bとに順位付けができると仮定する．さらに不安定な均衡解をCとしよう．この均衡を特徴づける変数をtとし，各均衡における変数の値をそれぞれt_i $(i = A, B, C)$とすると$t_A t_C < t_B$の関係が成り立つとする．何らかの歴史的経緯により初期状態の変数の値がパレート劣位な均衡Aと不安定均衡解Cとの間にあると仮定しよう．このとき両主体は互いに当該変数の値が減少するだろうと想定する．その想定は実現し変数の値は次第に減少してt_Aまで達し，均衡Aに落ち着く．一方初期状態がt_Aよりも小さい場合，今度は逆に当該市場へ参加する主体は変数が増加することを想定し，結局t_Aまで達する．同様にして初期状態が均衡A以上の状態の場合にはBの水準になることが分かる．すなわち，いったん安定均衡に落ち着くと多少その値から変化したとしてもその均衡から離れることはなく，そこから離脱することはない．

そこで政府が何らかの施策を導入することにより，よりパレート効率的な均衡へ移行させることを考える．ここでは政府が社会実験を通じてしばらくの間強制的に当該変数の値を維持させる状況を考えよう．いったん不安定均衡における変数の水準t_Cより大きな値まで当該変数が増加すると，以降は当該市場のメカニズムに従ってt_Bの水準まで増加し，もう一方の安定均衡に落ち着く．いったん安定均衡Bに落ち着くと，市場参加者の市場に対する想定が変化しないため，仮にその社会実験を終了したとしても再びパレート劣位な均衡へ戻ることは難しくなる．

本研究では，４章において，複数の均衡解が存在する場合の複数均衡間移動による市場の失敗の解消方策に関して，タクシースポット市場を対象とした事例をとりあげる．

1.5.4　構造変化

行政的介入によるもう一つの市場の失敗を解決する手段は，市場構造そのものを変えてしまうことである．たとえば，往路と復路の交通手段選択に手段補完性の関係があるバス市場を考えよう．当該市場にお

いては，複数の局所解が存在する．大域的な最適解は一つであり，大局的な観点から当該企業が行動すれば利潤最大化を果たすことができる．しかし，通常企業は近視眼的に行動する．仮にいま負の利潤を獲得している状況だとすると，運行頻度を微小に変化させても利潤の符号は変化しない．このケースでは複数の局所解の存在が市場の構造に大きなインパクトを与えている．

この場合政府のとりうる政策としてはどのようなものがあるだろうか．企業に対する利潤規制は，社会的厚生を増加させる可能性があるものの，複数の局所解の解決にはつながらない．そこで，複数の局所解が存在する要因となっている手段補完性自体を解消することを目的とする交通手段の代替化戦略を考えよう．具体的には往路・復路において自由に待ち時間なしで利用できる交通手段が存在すると仮定する．このような交通手段としては自動車や自転車の共同利用などが考えられ，往路（または復路）にバスを利用したとしても復路にバス以外の交通手段を利用できる状況を想定している．復路（もしくは往路）に利用できる代替交通機関が存在した場合，各家計にとって往路の交通手段選択と復路の交通手段選択の間には手段補完性が存在しない．したがって複数均衡解は存在せず，利潤最大化を果たす最適運賃及び最適運行本数は一意に決定される．

ただし，手段補完性に伴う規模の経済性を解消したとしても，資源配分上の非効率性の問題は依然残されており，それを解消するための政策介入は別に必要となることに注意する必要がある．本項で取り上げたバス市場に関しては，５章においてより詳しい分析する．

1.6　本論文の構成

以上のような背景のもとに，本論文では，コミュニケーションを通じた個人の交通行動から，個別の交通のコーディネーションの結果生じる公共交通にいたるまで，マッチングに起因する交通を分析する．前半の２章及び３章においては，最も根元的な交通である，自ら生産する交通サービスを自ら利用するという交通トリップに焦点をあてて，交通トリップ生成の要因となる個人間のコミュニケーションメカニズムを分析する．２章では，交通トリップが生じる要因となるフェイス・ツゥ・フェイスのコミュニケーションのメカニズムを分析する．コミュニケーション過程が，個人がミーティング相手を求めて探索するマッチング過程と，ミーティングを行うかどうかを判断する合意形成過程とから構成されることを指摘する．同質な主体によるコミュニケーションにおけるマッチング相手の探索行動には，市場薄の外部性と混雑現象が存在することを述べる．また生じるミーティング均衡の特性を分析することにより交通施設整備が交通行動へ及ぼす影響について考察する．

３章では，異質な個人によるコミュニケーション過程をモデル化すると共にそのミーティング均衡を定義する．ミーティング均衡には複数の均衡解が存在し，主体間の意思決定の相互性に起因して潜在的なミーティング交渉相手とのマッチングに失敗するという調整の失敗が生じることを示す．さらに外部性解消の手段として情報提供を検討する．ミーティング相手探索における情報の利用可能性が均衡に及ぼす影響について検討した結果，情報の提供はミクロレベルでの主体の探索行動の非効率性は解消するものの，マクロレベルでのコミュニケーション戦略を制御するにはいたらないことを示す．

続いて４章及び５章では，交通サービスを消費する意思を持つ主体と，交通サービスを提供する主体とが異なる場合の交通に焦点をあてる．４章では，交通トリップを行いたい個人と交通サービスを提供する企業とを１対１で結びつけるタクシーサービス市場に着目する．タクシーサービス取引が行われる個別のスポット市場を取り上げて，それが内生的に形成されるメカニズムについて分析する．タクシースポット市場には，不完全な憶測と取引費用の存在が原因となる市場厚の外部性が存在することを示す．当該市場には市場厚の外部性が原因となって複数均衡解が存在する可能性があることを示す．さらに，タクシーや乗客の異質性を考慮したモデルを構築し，双方向の情報の非対称性より生じる望ましい相手と適切にマッチングされないというミスマッチングの不経済が表れることを示す．またミスマッチングの不経済を克服するために市場の差別化戦略を検討し，タクシーの運賃規制，市場差別化政策が社会的厚生に及ぼす影響を分析する．

５章では，交通トリップを行う意思を持つ複数の個人をとりまとめてサービス提供企業とマッチングさせる交通として，バスサービス市場をとりあげる．往路と復路の交通手段選択間のマッチングに働く手段補完性について検討する．個人のバス選択行動に手段補完性が存在する場合，バス市場に規模の経済性が原因となってバスの運行本数とバス需要の間にポジティブフィードバックのメカニズムが働く．手段補完性を明示的に考慮したバス市場均衡モデルを定式化し，バス市場に複数均衡解が存在することを理論的に示す．さらに，手段補完性を補正する手段として市場構造の変化をもたらす政策導入を検討し，この種の交通手段の代替化施策の導入が市場均衡や社会的厚生に及ぼす影響を分析する．

６章では本研究の成果をとりまとめる．

参考文献

1) 小林潔司編著：知識社会と都市の発展，森北出版，1999.

2) Daganzo, C. F. and Y. Sheffi: On Stochastic Models of Traffic Assignment, *Transportation Science*, Vol. 11, pp. 253-255, 1977.

3) Fisk, C.: Some Developments in Equilibrium Traffic Assignment, *Transportation Research*, Vol. 14, B(3), pp. 243-255, 1980.

4) 小林潔司: 不完備情報下における交通均衡に関する研究, 土木計画学研究・論文集, No.8, pp. 81-88, 1990.

5) Kobayashi, K.: Information, Rational Expectations and Network Equilibria, *The Annals of Regional Science*, Vol. 28, pp. 369-393, 1994.

6) 小林潔司, 喜多秀行, 多々納裕一: 送迎・相乗り行動のためのランダム・マッチングモデルに関する研究, 土木学会論文集, No. 536/IV-31, pp. 49-58, 1996.

7) 森川高行: 個人選択モデルの再構築と新展開，土木計画学研究・論文集, No. 12, pp. 15-27, 1995.

8) 森川高行，田中小百合，荻野成康：社会的相互作用を取り入れた個人選択モデル－自動車利用自粛行動への適用－，土木学会論文集，No.569/IV-36, pp.53-63, 1997.

9) 小林潔司，福山敬，松島格也: フェイス・ツゥ・フェイスのコミュニケーション過程に関する理論的研究，土木学会論文集，No.590/IV-39, pp. 11-22, 1998.

10) 小林潔司：知識社会における交通行動：課題と展望，土木計画学研究・論文集，No.12，pp.1～13, 1995.

11) Hall, R.: *Booms and Recessions in Noisy Economy*, Yale University Press, 1991.

12) Mun, S. and M. Yonekawa: The Effects of Flex Time on Traffic Patterns with Bottleneck Congestion, in Kobayashi *et al.* eds, *Structural Change in Transportation and Communications in the Knowledge Economy: Implications for Theory, Modeling and Data*, Edward Elgar, 2003.

13) 小林潔司，奥村誠，永野光三：鉄道通勤交通における出発時刻分布に関する研究，土木計画学研究・論文集，No. 14，pp. 895-906，1997.

14) 吉村充功，奥村誠：鉄道通勤における最適フレックスタイムパターンの研究，土木計画学研究・論文集，No. 18，pp. 779-786，2001.

15) 奥野正寛，鈴村興太朗：ミクロ経済学I, II，岩波書店，1988.

16) Bourger, B. and S. Wouters: Transport Externalities and Optimal Pricing and Supply Decisions in Urban Transportation: a Simulation Analysis for Belgium, *Regional Science and Urban Economics*, Vol.28, pp.163-197, 1998.

17) Nash, C., T. Sansom, and B. Still: Modifying Transport Prices to Internalize Externalities: Evidence from European Case Studies, *Regional Science and Urban Economics*, Vol.31, pp413-431,

2001.

18) Pedersen, P. A.: On the Optimal Policies in Urban Transportation, *Transportation Research Part B*, Vol.37, pp.423-435, 2003.

19) Mohring, H. and M. Harwitz: *Highway Benefits -An Analytical Framework*, Northwestern University Press, Chicago, 1962.

20) 松島格也，小林潔司: タクシー・サービスのスポット市場均衡に関する研究, 土木計画学研究・論文集, No.16, pp.591-600, 1999.

21) Diamond, P.A.: Aggregate Demand Management in Search Equilibrium, *Journal of Political Economy*, Vol.90(5), pp.881-894, 1982.

22) Mortensen, D.T.: Property Rights and Efficiency in Matching, Racing, and Related Games, *American Economic Review*, Vol.72(5), pp.968-979, 1982.

23) Shimer, R. and L. Smith: Matching, Search, and Heterogeneity, , Advances in Macroeconomics: Vol. 1: No. 1, Article 5, http://www.bepress.com/bejm/advances/vol1/iss1/art5, 2001.

24) Hosios, A.: On the Efficiency of Matching and Related Models of Search and Unemployment, *Review of Economic Studies*, Vol.57(2), pp.279-298, 1990.

25) Shi, S.: Frictional Assignment, *Journal of Economic Theory*, Vol.98(2), pp.232-260, 2001.

26) 松島格也，小林潔司：手段補完性を考慮したバス市場構造の分析，土木学会論文集，投稿中.

27) Cooper R. W.: *Coordination Game -Complementarities and Macroeconomics-*, Cambridge University Press, 1999.

28) Howitt, P. W.: *The Keynesian Recovery*, Prentice Hall, 1990.

29) Howitt, P. W. and R.P. McAfee: Costly Search and Recruiting, *International Economic Review*, Vol. 28, pp. 89-107, 1987.

30) 松島格也：戦略的相補性と交通市場，土木計画学研究講演集, No.28, CD-Rom, 2003.

31) Aoki, M.: *Towards a comparative institutional analysis*, MIT press, 2001. (瀧澤弘和，谷口和広訳：比較制度分析に向けて，NTT 出版，2001.)

32) 青木昌彦，奥野正寛：経済システムの比較制度分析，東京大学出版会，1996.

33) Milgrom, P. and J. Roberts: Rationalizability, Learning, and Equilibrium in Games with Strategic Complementarities, *Econometrica*, Vol.59, pp.1255-1277, 1990.

34) Milgrom, P. and J. Roberts: *Economics, Organizations and Management*, Englewood, Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall, 1992.（伊藤秀史，今井晴雄，奥野正寛訳：組織の経済学，NTT 出版，1997.）

35) Vives, X.: Nash Equilibrium with Strategic Complementarities, *Journal of Mathematical Economics*, Vol.19, pp.305-321, 1990.

36) Morris, S. and H.S. Shin: Unique Equilibrium in a Model of Self-fulfilling Currency Attacks, *American Economic Review*, Vol.88, pp.587-597, 1998.

37) Eichberger, J. and D. Kelsey: Strategic Complements, Substitutes, and Ambiguity: The Implications for Public Goods, *Journal of Economic Theory*, Vol.106, pp.436-466, 2002.

38) Frankel, D. M., S. Morris, and A. Pauzner: Equilibrium selection in global games with Strategic Complementarities, *Journal of Economic Theory*, Vol.108, pp.1-44, 2003.

39) Oomes, N.: Local Trade networks and Spatially Persistent Unemployment, *Journal of Dynamics and Control*, Vol.27, pp.2115-2149, 2003.

40) Topkis, D.M.: Equilibrium Points in Nonzero-sum n-person Supermodular Games, *Journal of Control and Optimization*, pp.773-787, 1979.

41) Topkis, D.M.: *Supermodularity and Complementarity*, Princeton University Press, 1998.

42) Varian, H.R.: *Intermediate Microeconomics: A Modern Approach*, 5th edition, W.W. Norton and Company, 1999. (佐藤隆三監訳：入門ミクロ経済学，勁草書房，2000.)

43) Bulow, J., Geanakoplos, J., and Klemperer, P.: Multimarket Oligopoly: Strategic Substitutes and Complements, *Journal of Political Economy*, Vol.93, pp.488-511, 1985.

44) Cooper, R. and J. Andrew: Coordinating Coordination Failures in Keynesian Models, *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 103, pp. 441-463, 1988.

45) 松島格也，福山敬，小林潔司 : 個人選好の異質性とミーティング均衡，応用地域学研究，No.3, pp.151-164, 1998.

46) Pigou, A. C., *Economics of Welfare*, London, Macmillan, 1920.

47) たとえば，山田浩之編：交通混雑の経済分析-ロードプライシング研究-，日本交通政策研究会研究双書15，勁草書房，2001.

48) たとえば，Mun, S.: Peak-load Pricing of Bottleneck with Traffic Jam, *Journal of Urban Economics*, Vol.46, pp.323-349, 1999.

49) 小林潔司，太田勝久，都明植：不完全情報下における状況依存的混雑料金に関する理論的研究，土木学会論文集，No.611/IV-42, pp.57-68, 1999.

2　コミュニケーションにおけるマッチングメカニズム

2.1　緒言

現代都市には膨大な量のアイデアや知識が集積している．人間の間でのアイデア交換の容易さが，大都市の集積の効果という外部経済を形成している．フェイス・ツゥ・フェイスのコミュニケーションは，人間がアイデアや知識を交換するための重要な手段である．この種のコミュニケーション行動においては，意思決定プロセスに相手の意思が関与するという特徴がある．すなわち，ミーティングを行う当事者達が互いにミーティングを行うことに合意することが，コミュニケーションが成立するための前提となる[1)]．

ランダム効用モデルを用いた交通行動モデルの発展により，交通行動の表現方法の自由度は著しく増加した．これらの研究は，交通現象を個々人による独立な行動に還元し，それを集計化することにより理解しようという方法論に基づいている．しかし，多くの交通行動において，交通主体は他人の意思と無関係にその行動のすべてを決定できるものではない．特に，フェイス・ツゥ・フェイスのコミュニケーション行動をモデル化するためには，従来無視されてきた個人間の意思決定における相互作用を明示的に考慮する必要がある[2),3)]．

１章で言及したように，個人間の意思決定問題に相互作用がある場合，集計化操作を個人の選択行動の簡単な加算和では表現できない．多くの人間が，互いにミーティングを行いたいと思う相手を発見し，ミーティング形成に対する合意を形成し，ミーティングを繰り返す．このようなミーティング形成を繰り返し行うことにより個人は効用を獲得するが，ミーティングより得られる効用水準もミーティング相手の意思決定の結果に依存して決定される．ミーティングが形成されるか否かは偶然的な要素にも左右されよう．このような個人間の意思決定に相互作用が働くミーティング均衡には，**1.3.1** 及び **1.3.5** で指摘した混雑や市場薄の外部性が生じる可能性がある．フェイス・ツゥ・フェイスのコミュニケーションのメカニズムを理解するためには，ミーティングがランダムに繰り返される過程とそこにおける確率的均衡をモデル化することが重要な課題となる．

本章では，人間のフェイス・ツゥ・フェイスのコミュニケーションを異なる相手とのミーティングが繰り返される過程として記述し，その長期的なミーティング均衡をモデル化する．さらに，交通施設の整備がミーティング均衡に及ぼす影響について分析する．その際，最も基本的なミーティングの形態である２人ミーティングに焦点を絞ることとする．以下，**2.2** では従来の研究概要をとりまとめる．**2.3** では本章の研究の核となるミーティングについてその基本的な考え方を示す．**2.4** で，システム全体でのミーティング過程を，**2.5** で個人のミーティング行動をモデル化する．**2.6** ではミーティング均衡について理論的に考察し，今後の研究課題をとりまとめる．

2.2　従来の研究の概要

伝統的な交通行動モデリングでは，個人の行動を他人の意思決定とは切り離してモデル化するという方法論が採用されてきた．もちろん，他人の意思決定の結果が個人行動に及ぼす影響が無視されてきたわけ

ではない．例えば，確率的ネットワーク均衡[4),5)]や合理的期待均衡[6),7)]のように，個人行動の結果は交通ネットワークのパフォーマンスを通じて集計化された形で個人の効用に影響を及ぼすように取り扱われてきた．近年，個人の意思決定の相互作用を明示的にモデル化するアプローチがいくつか提案されている．小林等[8)]はランダムマッチングモデルにより個人間の意思決定の相互作用を直接モデル化している．森川等は，他人の効用水準がreference pointとなり自分の効用に影響を及ぼすようなランダム効用モデル[9)]を提案している．これらの研究は，個人の交通行動分析のレベルにとどまっており，システム全体での均衡を定義できるような一般的な内容を持ち合わせていない．著者の知る限り，意思決定の相互作用を考慮したコミュニケーション行動の確率的均衡を分析した研究事例は見あたらない．

フェイス・ツゥ・フェイスのコミュニケーション過程においては，ミーティング相手の探索行動が重要な意味を持つ．このような探索行動に関しては，すでにオペレーションズ・リサーチにおいて探索理論[10)]という確立した研究分野となっている．経済活動を行ううえで個人間の取引が必要不可欠であることから，経済学の分野でも探索行動に関する研究が進展している．例えば，Diamond[11)], Mortensen[12)] は需要サイドと供給サイドの人間が取引相手を探索するモデルを構築し，その均衡状態の非効率性を分析している．Howitt[13)] は，探索費用が必要な市場行動を分析し，取引相手の希少性から生じる外部不経済について分析している．さらに，これらの研究成果は，ゲーム理論の分野を中心にtwo-sided matching gameとして発展を遂げつつある[14)]．これらの研究の特徴は，需要者と供給者という２種類の異なるサイドの間の市場取引を分析した点にある．フェイス・ツゥ・フェイスのコミュニケーションでは，各個人がミーティングの需要者と供給者としての役割を状況に応じて演じわける点に特徴がある．したがって，フェイス・ツゥ・フェイスのコミュニケーション行動をモデル化するためには，新たにnon-sided matching gameに関する分析枠組みを開発する必要がある．

2.3 ミーティングとその特徴

2.3.1 ミーティング形成の特徴とその分類

ミーティングを行うためにはまず少なくとも２人の個人がミーティングを行う意思を持って出会う必要がある．さらに，当該の個人がミーティングを形成することに合意しなければならない．つまり，複数の個人がミーティング形成に合意するまでの過程（以下，ミーティング過程と呼ぶ）は，１）ミーティングを行う対象となりうる相手と出会う過程，２）出会った後双方がミーティングを行うことに合意する過程で形成される．本章では，前者の過程を「マッチング過程」，後者を「合意形成過程」と呼ぶこととする．ミーティングは，ミーティングが「自発的になされるか」,「強制的になされるか」により「自発的ミーティング」,「強制的ミーティング」に分類できる[1)]．前者は，友人関係等の私的交際，あるいは多くのビジネス会合のように該当する個人の自由意思によって形成されるミーティングである．自発的ミーティングは，異なる個人がミーティングの潜在的な相手と「どのようにして知り合うのか」,「どのように交渉をはじめるのか」を規定する技術（マッチング技術）によって**2.3.2**で述べるように分類できる．一方，後者はミーティングの当事者の一方，あるいは第三者が強制力を行使することにより実現することが義務づけられる

ようなミーティングである．強制的ミーティングでは，権力を有する個人や組織がマッチング開催の詳細を決定する．以下，本章では個人の自由意思により形成される「自発的ミーティング」に焦点をあてることとする．

2.3.2　自発的ミーティングとマッチング技術

自発的ミーティングでは，ミーティング相手を探索するためのマッチング技術が重要な役割を果たす．マッチング技術は，異なる個人が時間軸上で出会い合意を形成していく過程を支えており，１）情報チャンネル，２）探索戦略，３）統合ルールにより記述される．情報チャンネルとはミーティング相手の存在を見いだすために個人が利用する情報源を意味し，１）個人情報，２）組織情報，３）市場情報に大別できる．１）は，ミーティング相手を組織化されない情報に基づいて探索する方法を意味しており，最も単純な情報チャンネルである．個人は学会等の組織に参加することにより探索情報費用を大幅に節約できる．さらに，情報チャンネルの技術革新により，市場でミーティング相手に関する情報を購入することも可能となろう．個人がいずれの情報チャンネルを利用するかは，情報費用や必要とする知識・情報の内容に依存する．

探索理論[10)]に基づけば，個人がミーティング相手を探索する際に利用する代表的な（停止）戦略として１）近視眼的方法，２）代替案を作成する方法，３）選択肢集合を用いる方法が考えられる．近視眼的方法とは，最も簡単な探索戦略であり，ミーティング相手を逐次探索し自分の保留効用を上回った最初の相手とミーティングの交渉を行う戦略である．２）は，いくつかの代替的な相手を探索しその中から適切な相手を選択するという方法である．３）は常時，交際を行う相手の集合を確保しておき，その中から適切な相手を選択するという戦略である．通常，ミーティング相手の探索情報費用を節約するため，個人は基本的には探索戦略３）を採用しながら，他の探索戦略を併用し相手集合を適宜修正しているのが実態であろう．

ミーティング過程は時間軸上で繰り返される動的現象であり，生起時刻を調整する統合ルールが必要となる．統合方式は，１）外生方式，２）逐次決定方式，３）ダイヤリー方式に大別できよう．１）では，外生的にミーティングが計画され，個人は参加するか否かのみを決定する．２）３）は，基本的に個人がミーティング過程を管理する方式である．２）では，相手の探索とミーティングの実施が相互に繰り返される．３）では，あたかも個人が手帳の中にミーティング予定を埋めるようにミーティング過程が調整されていく．ミーティングは，情報チャンネル，探索戦略，統合ルールの組み合わせにより分類できるが，１つのモデルによりすべてのタイプのミーティングを表現できるわけでない．本章ではミーティングのプロトタイプとして，最も単純な「個人情報・近視眼的戦略・逐次決定」方式による同質な個人集団における２人ミーティング過程をとりあげる．この方式によれば，ミーティング相手の探索は毎期独立に行われ，ミーティング過程は歴史に依存しない．現実のミーティング過程の複雑性を考慮すれば，本章では極めて限定されたミーティング過程に焦点を置いていることは否めない．しかし，このような簡単なモデルを用いても，次節で述べるようなミーティング過程に付随する外部経済性を十分に表現することが可能であり，交通

施設等の整備がミーティング均衡に及ぼす影響を効果的に分析できるという利点を有している．なお，本章で提案するモデルを拡張することにより，より複雑なミーティング過程を表現することが可能になるが，このようなモデルの拡張性についてはのちに **2.6.5** で考察する．

2.3.3　ミーティングと外部不経済

前述したように，ミーティングが成立するためにはミーティング相手の合意を得ることが前提となる．ある個人がミーティングに合意しない場合，ミーティング相手がミーティングに賛同していてもミーティングは実現しない．その結果，個人の行動が他人の行動に影響を直接及ぼすことになる．このような個人間の意思決定の相互性に起因して，同質な個人により繰り返されるミーティング過程には，１）混雑現象，２）市場薄現象 (thin market phenomena)[13] という外部不経済が存在する．１）は，都市内の個人のミーティング頻度が高くなると結果的に混雑が生じ，ミーティング相手を探索するための情報費用が高くなるという外部不経済である．一方，２）は，ミーティング相手を選別することにより生じる外部性である．個人がミーティング過程においてより大きな効用を得るためには，より大きな効用をもたらす相手を選択する必要が生じる．しかし，より魅力的なミーティングを実現しようとすれば，ミーティング相手を発見することは困難となり，ミーティング相手の合意を得ることも難しくなる．これはミーティング市場においてミーティングを取引する相手が少なくなる外部不経済であり，取引費用の経済学の分野で市場薄の外部不経済性[13] といわれているものに他ならない．のちに，**2.6.3** で考察するように，市場薄の外部不経済性はミーティング均衡の成立に対して極めて重要な役割を果たすことになる．以上の外部不経済性は多くのミーティング過程に付随する本質的な外部不経済性である．本章で提案するモデルは極めて単純な構造を有しているが，これら２種類の外部不経済性を効果的に表現できるという利点を持っている．

2.4　ミーティング過程のモデル化

2.4.1　モデル化の前提

同質な個人が２人ミーティングを繰り返すミーティング過程をとりあげる．個人はミーティング相手に関する記憶を持たない．いま，ある都市内に $2m+1$ 人の個人が生活し，互いにミーティングの相手を個人的な情報に基づいて探索していると考えよう．ここでは，記述の簡略化のため，個人数を奇数 $2m+1$ に設定するが，個人数が十分多くなればこの仮定は問題にはならない．各個人は「ミーティングの相手が見つかったり」，あるいは「他人からミーティングに対する申し込みがあった」場合，当該の相手とミーティングを行うかどうかを判断する．双方の当事者が，ミーティング形成に合意した場合は，そこで探索行動は打ち切られ，直ちにミーティングが形成される．ミーティング形成に関する合意が成立しなかった場合，両者ともミーティング相手の探索を再び開始する．ミーティングが形成された場合，ある時間が経過すればミーティングが終了し，２人の個人は互いに離ればなれになり，再びミーティングの相手を捜し始める．ミーティングの最中は，探索行動は一時中止される．また，ミーティングの申し込みがあっても申し出を断ることとする．また，探索過程において，過去にミーティングを行った相手と再びミーティングを形成

することを妨げない．すなわち，探索過程において，過去にミーティングを形成したことのある相手とそうでない相手を区別しない．以下では，すべての個人がこのようなミーティングの形成を繰り返す過程を出生・死滅過程として記述しよう．

2.4.2 ミーティング過程のモデル化

ある時刻tにおいて$2n+1$ $(0 < 2n+1 \leq 2m+1)$ 人がミーティングを行っておらず，$2(m-n)$ 人がミーティングを行っていると考える．各個人には$2n$ 人の（自分以外の）潜在的な交渉相手が存在している．ミーティングの形成・終了する事象が稀少であり，ある微小時間 Δt の間に２組以上のミーティングが形成される（あるいは２組以上のミーティングが終了する，あるいはその両方が生起する）確率を無視できるものとする．すなわち，ある時刻tから微小時間 $t+\Delta t$ の間におこりうる状態の変化としては，１）１組のミーティングが成立する，２）１組のミーティングが解消される，３）そのどちらもおこらない，のいずれかである．時刻tにおいて，ミーティングを行っていない各個人が$2n$ 人の潜在的なミーティングの交渉相手を有しているとき，ある微小時間Δtにおいてミーティングが形成される割合を$a(n)$，１組のミーティングが終了する割合を $b(n)$ で表そう．これらの割合は，いずれも潜在的なミーティングの交渉相手の数$2n$に依存している．$a(n), b(n)$の具体的な形式は次節で特定化する．時刻$t+\Delta t$において，ミーティングを行っていない個人が$2n$ 人のミーティング相手を有している確率$P_{t+\Delta t}(n)$ $(n = 0, 1, \cdots, m)$は，出生死滅過程

$$P_{t+\Delta t}(0) = a(1)\Delta t P_t(1) + (1 - b(0)\Delta t)P_t(0) + o(\Delta t)!, \tag{2.1a}$$

$$P_{t+\Delta t}(n) = a(n+1)\Delta t P_t(n+1) + b(n-1)\Delta t P_t(n-1) + [1 - a(n)\Delta t - b(n)\Delta t]P_t(n) \\ + o(\Delta t)!, \quad (n = 1, 2, \cdots, m-1) \tag{2.1b}$$

$$P_{t+\Delta t}(m) = b(m-1)\Delta t P_t(m-1) + [1 - a(m)\Delta t]P_t(m) + o(\Delta t)!, \tag{2.1c}$$

$$\sum_{n=0}^{m} P_t(n) = 1 \tag{2.1d}$$

により記述される．ここに，$o(\Delta t)!$は高次の微小項である．式(2.1a)-(2.1c)の両辺をΔtで割り，$\Delta t \to 0$の極限で$\lim_{\Delta t \to 0} o(\Delta t)!/\Delta t = 0$が成立すれば次式を得る．

$$\dot{P}(0) = a(1)P(1) - b(0)P(0), \tag{2.2a}$$

$$\dot{P}(n) = a(n+1)P(n+1) + b(n-1)P(n-1) - [a(n) + b(n)]P(n), \ (n = 1, 2, \cdots, m-1) \tag{2.2b}$$

$$\dot{P}(m) = b(m-1)P(m-1) - a(m)P(m) \tag{2.2c}$$

$$\sum_{n=0}^{m} P(n) = 1, \tag{2.2d}$$

ただし，$\dot{P}(n) = \lim_{\Delta t \to 0}\{P_{t+\Delta t}(n) - P_t(n)\}/\Delta t$である．$a(n) \geq 0, b(n) \geq 0$ が成立するとき，$t \to \infty$ の極限でシステム(2.2a)-(2.2c)は定常状態に収束する．定常状態では，$\dot{P}(n) = 0$ $(n = 0, \cdots, m)$であり，

$$b(0)P(0) = a(1)P(1), \tag{2.3a}$$

$$a(n+1)P(n+1)+b(n-1)P(n-1)=[a(n)+b(n)]P(n)\ (n=1,2,\cdots,m-1) \tag{2.3b}$$

$$b(m-1)P(m-1)=a(m)P(m) \tag{2.3c}$$

を得る．式 (2.3a),(2.3b),(2.3c) より帰納的に次式が成り立つ.

$$a(n+1)P(n+1)=b(n)P(n)\ \ (n=1,\cdots,m-1) \tag{2.4}$$

漸化式 (2.4) を境界条件 (2.3a)(2.3c) 及び条件 (2.2d) の下で解くことにより，定常確率は次式で表される．

$$P(0)=\frac{\displaystyle\prod_{i=1}^{m}a(i)}{\displaystyle\prod_{i=1}^{m}a(i)+\sum_{k=2}^{m}\left\{\prod_{i=k}^{m}a(i)\prod_{j=0}^{k-2}b(j)\right\}+\prod_{j=0}^{m-1}b(j)} \tag{2.5a}$$

$$P(n)=\prod_{l=1}^{n}\frac{b(l-1)}{a(l)}P(0)\ (n=1,\cdots,m-1) \tag{2.5b}$$

$$P(m)=\frac{\displaystyle\prod_{j=0}^{m-1}b(j)}{\displaystyle\prod_{i=1}^{m}a(i)+\sum_{k=2}^{m}\left\{\prod_{i=k}^{m}a(i)\prod_{j=0}^{k-2}b(j)\right\}+\prod_{j=0}^{m-1}b(j)} \tag{2.5c}$$

2.4.3　ミーティングの生成・死滅割合

時刻 t で $2n+1$ 人がミーティング相手を探索していると考える．彼らは，自分以外の $2n$ 人の潜在的な交渉相手とミーティングを行う可能性を持っている．しかし，当該の個人は誰がミーティングを行っていないかという情報を事前には持ちえず，結局，自分以外の $2m$ 人全員を対象としてミーティング相手の探索を行わなければならない．ミーティングの交渉相手と出会う機会として，１）本人の探索により相手を発見する場合と２）相手からミーティングの申し込みがある場合がある．ここで，個人 i による探索努力を個人 i が単位時間当たりに相手を発見する確率測度 α_i（以下，探索強度と呼ぶ）を用いて表現しよう．本人の努力によりミーティングの交渉相手を発見する確率は当該時刻においてミーティングを行っていない相手が個人全体に占める割合 $2n/2m$ に依存すると考えよう．微小時間 $[t,t+\Delta t]$ にミーティング相手を発見する確率 $s_i\Delta t$ は

$$s_i\Delta t=\alpha_i\frac{n}{m}\Delta t \tag{2.6}$$

と表せる．s_i は単位時間当たりにミーティングの交渉相手を発見する確率測度である．すべての個人が対称的であり，探索強度がすべて同一であると仮定しよう．個人 i 以外の代表的個人（他人）の探索強度を α^i と表す．個人 i は変数 α_i を制御できるが，他人の探索強度 α^i を制御することはできないため，変数 α_i と α^i を区別する．このとき，自分を除く $2n$ 人が探索強度 α^i でミーティング相手を探索しているときに，そのなかの１人が微小時間 $[t,\Delta t]$ において自分自身を発見してくれる確率は $(\alpha^i/2m)\Delta t$ である．したがって，$2n$

人のうち，誰か１人からミーティングの申し込みを受ける確率$s^i\Delta t$は

$$s^i\Delta t = \alpha^i \frac{n}{m}\Delta t \tag{2.7}$$

と表せる．ここに，s^iは単位時間当たりにミーティングの交渉相手として発見される確率測度である．したがって，個人iがマッチング相手と$[t, t+\Delta t]$において出会う確率$h_i(n)\Delta t$は次式で表される．

$$h_i(n)\Delta t = (\alpha_i + \alpha^i)\frac{n}{m}\Delta t \tag{2.8}$$

形成されたマッチングペアにおいて当事者同士がミーティングに同意し，ミーティングが形成される確率をπ_iとしよう．ミーティングが形成されるか否かという合意は瞬時に形成されると仮定すれば，微小時間$[t, t+\Delta t]$においてミーティングが形成される確率$\xi_i(n)\Delta t$は

$$\xi_i(n)\Delta t = \pi_i(\alpha_i + \alpha^i)\frac{n}{m}\Delta t \tag{2.9}$$

で表される．マッチング過程において，双方がミーティングを行うことに合意すればその時点で探索行動は中止され，直ちにミーティングが形成される．一方，ミーティングに対する合意が成立しなかった場合には再び探索行動を始める．ここで，個人が対称的であり定常状態において，$\xi_i(n) = \xi(n), \pi_i = \pi, \alpha_i = \alpha, \alpha^i = \hat{\alpha}$が成立すると仮定しよう．時刻$t$にミーティングを行っていない$2n+1$人が互いに独立にミーティング相手を探索するとき，都市システム全体の中でΔtにミーティングが新しく形成される確率は次式のようになる．

$$\begin{aligned} a(n)\Delta t &= \frac{\xi(n)(2n+1)\Delta t}{2} \\ &= \pi(\alpha + \hat{\alpha})\frac{n(2n+1)}{2m}\Delta t \end{aligned} \tag{2.10}$$

一方，ミーティングの継続時間が平均継続期間長 β^{-1} の指数分布に従うと仮定する．t 期に $m-n$ 個のミーティングが行われ，単位時間 Δt 中にミーティングが終了する確率 $b(n)\Delta t$ は，次式のように表せる．

$$b(n)\Delta t = \beta(m-n)\Delta t \tag{2.11}$$

2.5　個人のミーティング行動のモデル化

2.5.1　ミーティング合意形成行動

マッチング相手の探索は主として，情報・通信ネットワークを用いて行われると考える．マッチング相手とのアポイントメントがとれれば，ミーティングが形成されフェイス・ツゥ・フェイスのコミュニケーションが行われる．ミーティング場所までの移動には交通ネットワークが用いられる[19)]．ミーティングが開催されるか否かに関わらず，ミーティング相手を探索するためには情報費用が必要となる．一方，交通費用はミーティングが開催される場合にのみ必要となる．

交通ネットワーク上で行われるミーティング行動をモデル化しよう．いま，個人iと個人jが出会い，互いにミーティングを行うか否かを決定しようとする場面を考える．「ミーティングを行う」,「ミーティングを

行わない」という２つの純粋戦略をもっている．ミーティングは２人が同時に「ミーティングを行う」という戦略を選択した場合にのみ形成される．ミーティングのための場所，費用負担等も重要な合意形成項目である．このような合意形成問題は，bargaining game[15)]を用いることによるアプローチが可能であるが，ここでは，簡単化のためにミーティングに要する費用は当事者が互いにある一定額を負担すると仮定する．

いま，時刻tにおいて個人iが個人jとミーティングを開始すると考えよう．時刻tの現在価値で評価した期間長Tのミーティングの効用をランダム効用モデル

$$\begin{aligned} U_i^j(t:T,\varepsilon_i^j) &= \int_t^T (\bar{v}_i^j+\varepsilon_i^j)\exp\{-r(\tau-t)\}\mathrm{d}\tau - c_i^j \\ &= \frac{\bar{v}_i^j+\varepsilon_i^j}{r}\{1-\exp[-r(T-t)]\} - c_i^j \end{aligned} \tag{2.12}$$

で表現する．なお，rは時間的割引率，v_i^jは個人iが個人jと会うことにより得られる瞬間効用，ε_i^jは個々のミーティングに特有な瞬間効用（確率変数）であり，これらはミーティング期間中は一定値をとる．時刻$[t,T]$で開催されるミーティングの効用を時刻tで計測した現在価値は時刻$\tau\in[t,T]$の瞬間効用を時刻tに割引いた値$(\bar{v}_i^j+\varepsilon_i^j)\exp\{-r(\tau-t)\}$を期間$[t,T]$に対して積分した値として定義される．一方，$c_i^j$はミーティング費用（交通費用）でありミーティングが開始された時点で支払われる．ミーティング費用は個人i,jのうち，どちらがミーティングを申し出るかにより異なった値をとるが，前述したようにミーティングをどちらが申し込んだかによらず一定値をとると考えよう．ミーティングの交渉時点でミーティング期間長は確定せず，平均β^{-1}の指数分布に従うことだけが判っている．この時，時刻tの現在価値で評価したミーティングの期待効用$EU_i^j(t:\varepsilon_i^j)$は次式で表される．

$$\begin{aligned} EU_i^j(t:\varepsilon_i^j) &= \int_t^\infty U_i^j(t:T,\varepsilon_i^j)\beta\exp\{-\beta(T-t)\}\mathrm{d}T \\ &= \gamma(\bar{v}_i^j+\varepsilon_i^j) - c_i^j \end{aligned} \tag{2.13}$$

なお，$\gamma=1/(r+\beta)$である．個人iは個人jとのミーティングで得られる期待効用$EU_i^j(t:\varepsilon_i^j)$がある保留効用水準$H_i$より大きいときにのみミーティングに合意する．保留効用水準は各個人がミーティングを行うか否かを判断する基準を意味するが，その決定メカニズムは後述する．個人iが個人jとのミーティングに合意する確率は

$$\begin{aligned} p_i^j &= \mathrm{Prob}\{EU_i^j(t:\varepsilon_i^j)\geq H_i\} \\ &= \mathrm{Prob}\{\gamma(\bar{v}_i^j+\varepsilon_i^j)-c_i^j\geq H_i\} \end{aligned} \tag{2.14}$$

で表される．一般性を失うことなく，ε_i^jは平均値 0 分散 1 の標準正規分布に従うと仮定する．ここで，標準正規分布関数を$\Phi(\cdot)$により表すと，個人i,jのミーティングの合意確率 p_i^j はそれぞれ次式で表される．

$$\begin{aligned} p_i^j &= \mathrm{Prob}\{\gamma(\bar{v}_i^j+\varepsilon_i^j)-c_i^j\geq H_i\} \\ &= \Phi(\bar{v}_i^j-\delta(c_i^j+H_i)) \end{aligned} \tag{2.15a}$$

$$\begin{aligned} p_j^i &= \mathrm{Prob}\{\gamma(\bar{v}_j^i+\varepsilon_j^i)-c_j^i\geq H_j\} \\ &= \Phi(\bar{v}_j^i-\delta(c_j^i+H_j)) \end{aligned} \tag{2.15b}$$

ただし，$\delta=\gamma^{-1}$である．個人i,jによる交渉の結果，生起する事象としては１）両者ともにミーティングに合意する（状況Ω_1），２）個人iは合意するがjは拒否をする（状況Ω_2），３）個人jは合意するがiは拒否をする（状況Ω_3），４）両者ともに拒否をする（状況Ω_4），の４通りが存在する．いま，式(2.15a),(2.15b)において，ランダム効用項ε_i^jが互いに独立であると仮定しよう．この時，各状況が生起する確率$P(\Omega_i)$ $(i=1,\cdots,4)$は，

$$P(\Omega_1)=p_i^j p_j^i \tag{2.16a}$$

$$P(\Omega_2)=p_i^j(1-p_j^i) \tag{2.16b}$$

$$P(\Omega_3)=(1-p_i^j)p_j^i \tag{2.16c}$$

$$P(\Omega_4)=(1-p_i^j)(1-p_j^i) \tag{2.16d}$$

と表せる．ミーティングが生起する確率は式(2.16a)で表せる．このような合意確率は，例えばランダムマッチングモデル[8)]を用いて記述できる．個人の同質性の仮定より，個人行動が対称的であり，任意のiに対して$H_i=H$, $\bar{v}_i^j=\bar{v}$, $c_i^j=c$, $\varepsilon_i^j=\varepsilon$, $\pi_i^j=\pi$, $EU_i^j=EU$が成立すると考える．両者がミーティングに合意する確率は次式で表せる．

$$\pi(H,\hat{H})=\Phi(\bar{v}-\delta(c+H))\Phi(\bar{v}-\delta(c+\hat{H})) \tag{2.17}$$

$\hat{H}$は他人が決定する保留効用水準であり，合意形成確率πは本人と他人の保留効用水準$(H,\hat{H})$に依存している．正規確率密度関数$\phi(\varepsilon)$に対して$\int\varepsilon\phi(\varepsilon)d\varepsilon=-\phi(\varepsilon),\phi(\varepsilon)=\phi(-\varepsilon),\Phi(\varepsilon)=1-\Phi(-\varepsilon)$が成立することより，ミーティングの期待効用の平均値$EV(H)$は

$$\begin{aligned}EV(H)&=\frac{\int_{\delta(H+c)-\bar{v}}^{\infty}EU(t:\varepsilon)\phi(\varepsilon)\mathrm{d}\varepsilon}{\int_{\delta(H+c)-\bar{v}}^{\infty}\phi(\varepsilon)\mathrm{d}\varepsilon}\\&=\gamma\bar{v}-c+\gamma\frac{\phi(\bar{v}-\delta(c+H))}{\Phi(\bar{v}-\delta(c+H))}\end{aligned} \tag{2.18}$$

となる．ここに，$\phi(\cdot)$は正規確率密度関数である．すなわち，ミーティングの期待効用はミーティングの純付加価値$\gamma\bar{v}-c$とミーティング相手を保留効用Hに基づいて選別することにより得られるプレミアム（式(2.18)の第３項）の和として表現される．

2.5.2　最適探索行動の決定

任意の時刻において，各個人は都市内で形成されているミーティングの数を正確には知ることはできない．個人は各時刻を通じて交渉相手が個人全体に占める真の割合n/mを知りえない．各個人は不確実な環境の下で意思決定を繰り返し，長期的な学習過程を通じて交渉相手の個人全体に占める割合の期待値$E[n/m]$に関する合理的期待を形成しうる．このような合理的期待形成の問題は**2.6.2**で改めて議論することとし，以下ではひとまずすべての個人はある共通の主観的期待$E^s[n/m]$を有していると考えよう．添字sは主観的期待であることを表している．この時，彼が計画するマッチングの主観的実現確率は

$$q(\alpha,\hat{\alpha})\Delta t=(\alpha+\hat{\alpha})E^s\left[\frac{n}{m}\right]\Delta t \tag{2.19}$$

と表せる．ただし，$\hat{\alpha}$は他人の平均的探索強度を表す．対称性の仮定より$\alpha = \hat{\alpha}$が成立するが，変数を支配している主体を明確にするために当面両者を区別する．式(2.19)に示すように，マッチングが形成される確率は当人だけでなく他人の探索強度にも依存する．

時刻tでミーティング相手を探索している個人の期待生涯効用を$V(t)$と表そう．時刻tに期間長Tのミーティングを開始した場合の生涯効用$\bar{U}(t:T,\varepsilon)$は，ミーティング効用の現在価値と時刻$t+T$の期待生涯効用を時刻tの現在価値に割り引いた結果の期待値の和

$$\bar{U}(t:T,\varepsilon) = U(t:T,\varepsilon) + V(t+T)\exp\{-r(T-t)\}$$

で表される．ここで，ミーティング期間長Tが平均β^{-1}の指数分布に従う時，期待生涯効用は

$$\overline{EU}(t,\varepsilon) = \int_t^{\infty} \bar{U}(t:T,\varepsilon)\beta\exp\{-\beta(T-t)\}\mathrm{d}T \tag{2.20}$$

となる．さらに，εが確率変数であることを考慮すれば，最終的に時刻tにミーティングを開始した時の期待生涯効用$R(t)$は次式のようになる．

$$R(t) = \frac{\int_{\delta(c+H)-\bar{v}}^{\infty} \overline{EU}(t,\varepsilon)\phi(\varepsilon)\mathrm{d}\varepsilon}{\int_{\delta(c+H)-\bar{v}}^{\infty} \phi(\varepsilon)\mathrm{d}\varepsilon} \tag{2.21}$$

時間$[t, t+\Delta t]$で生起する事象は，１）ミーティングが開始される（事象ω_1），２）マッチングは生起するがミーティングに失敗する（事象ω_2），３）マッチングに失敗する（事象ω_3）の３通りであり，それぞれの生起確率$p(\omega_1), p(\omega_2), p(\omega_3)$は以下のようになる．

$$p(\omega_1) = \pi(H,\hat{H})q(\alpha,\hat{\alpha})\Delta t \tag{2.22a}$$

$$p(\omega_2) = \{1-\pi(H,\hat{H})\}q(\alpha,\hat{\alpha})\Delta t \tag{2.22b}$$

$$p(\omega_3) = \{1-q(\alpha,\hat{\alpha})\}\Delta t \tag{2.22c}$$

個人が時点tに探索を行っている場合，時刻$t+\Delta t$に確率$p(\omega_1)$で期待生涯効用$R(t+\Delta t)$，確率$p(\omega_2)+p(\omega_3)$で期待生涯効用$V(t+\Delta t)$を獲得する．この時，個人の最適探索行動はBellmanの最適性原理[16)]より

$$V(t) = \max_{\alpha\geq 0, H}\left\{-C(\alpha)\Delta t + \frac{\pi(H,\hat{H})q(\alpha,\hat{\alpha})\Delta t}{1+r\Delta t}R(t+\Delta t) + \frac{1-\pi(H,\hat{H})q(\alpha,\hat{\alpha})\Delta t}{1+r\Delta t}V(t+\Delta t)\right\} \tag{2.23}$$

と表せる．ただし，$q(\alpha,\hat{\alpha}) = (\alpha+\hat{\alpha})E^s[n/m]$である．また，$C(\alpha)$は探索情報費用関数であり，

$$C(0) = 0, \frac{\partial C(\alpha)}{\partial \alpha} \geq 0, \frac{\partial^2 C(\alpha)}{\partial \alpha^2} \geq 0 \tag{2.24}$$

を満足すると仮定する．式(2.23)の右辺は，第１項よりそれぞれ１）探索情報費用，２）ミーティングに成功した場合の期待生涯効用の現在価値，３）ミーティングに失敗した時の期待生涯効用の現在価値を表す．式(2.23)において定常状態を仮定し$\Delta t \to 0$の極限をとれば再帰方程式

$$rV = \max_{\alpha\geq 0, H}\{-C(\alpha) + \pi(H,\hat{H})q(\alpha,\hat{\alpha})[EV-\rho V]\} \tag{2.25}$$

を得る（**付録 2.I** 参照）．ただし，$\rho = r/(r+\beta)$，EVはミーティングの期待効用の平均値 (2.18) であり保留効用水準Hの関数である．また，$EV(H) - \rho V$は１回のマッチングがもたらす期待生涯効用である．ここで，式 (2.25) の右辺を最大化する問題を考えよう．他人の保留効用水準，及び探索戦略がある水準$\hat{H}, \hat{\alpha}$に固定されたと考える．また，個人は近視眼的に行動し，$\partial E^s[n/m]/\partial\alpha = 0$が成立すると仮定する．いま，期待生涯効用が$\bar{V}$の水準に設定されていると考えれば，問題

$$Z = \max_{\alpha\geq 0, H}\{-C(\alpha) + \pi(H, \hat{H})q(\alpha, \hat{\alpha})[EV(H) - \rho\bar{V}]\} \tag{2.26}$$

の１階の最適化条件は次式で与えられる．

$$\frac{\partial \pi(H, \hat{H})q(\alpha, \hat{\alpha})\{EV(H) - \rho\bar{V}\}}{\partial H} = 0 \tag{2.27a}$$

$$\frac{\partial C}{\partial \alpha} = \pi(H, \hat{H})\frac{\partial q(\alpha, \hat{\alpha})}{\partial \alpha}\{EV(H) - \rho\bar{V}\} \tag{2.27b}$$

式 (2.17),(2.18) を用いて最適化条件 (2.27a) を展開すれば

$$(\rho\bar{V} - H)q(\alpha, \hat{\alpha})\phi(\bar{v} - \delta(c+H)) = 0 \tag{2.28}$$

を得る．ここで，$q(\alpha, \hat{\alpha})\phi(\bar{v} - \delta(c+H)) > 0$が成立することに着目すれば，最適保留効用水準$H^*$は

$$H^* = \rho\bar{V} \tag{2.29}$$

と表せる．$\rho\bar{V}$は期待生涯効用が$\bar{V}$の時のミーティングの平均機会費用であり，平均ミーティング期間長の時間価値を期待生涯効用を用いて評価した値で表せる．ここで，最適保留効用水準H^*は期待生涯効用$\bar{V}$を与件として求めたことに留意しよう．このことを明示的に示すために，式 (2.29) を用いて最適化条件 (2.27b) を書き換える．これまで，他人の保留効用水準，及び探索戦略がある水準$\hat{H}, \hat{\alpha}$に固定されていると考えていた．ここで，すべての個人の期待生涯効用が$\bar{V}$に固定されていると仮定しよう．この時，すべての個人は対称的な最適戦略$H^*(\bar{V}), \alpha^*(\bar{V})$をとることになる．そこで，最適戦略$H^*(\bar{V})$を式 (2.17),(2.18) に代入することによりミーティングの最適合意確率$\pi^*(\bar{V}) = \pi(H^*(\bar{V}), \hat{H}^*(\bar{V}))$，最適期待効用$EV^*(\bar{V}) = EV(H^*(\bar{V}))$は期待生涯効用$\bar{V}$の関数として

$$\pi^*(\bar{V}) = \Phi(\bar{v} - \delta c - r\bar{V})^2 \tag{2.30}$$

$$EV^*(\bar{V}) = \gamma\bar{v} - c + \gamma\frac{\phi(\bar{v} - \delta c - r\bar{V})}{\Phi(\bar{v} - \delta c - r\bar{V})} \tag{2.31}$$

と書き換えることができる．一方，最適戦略$\alpha^*(\bar{V})$は最適化条件 (2.27b) より限界期待便益と限界費用が等しくなる水準で決定される．ここで，式 (2.19),(2.30),(2.31) を考慮すれば，最適化条件 (2.27b) は次式のように書き換えることができる．

$$\frac{\partial C}{\partial \alpha} = \pi^*(\bar{V})E^s\left[\frac{n}{m}\right]\{EV^*(\bar{V}) - \rho\bar{V}\} \tag{2.32}$$

上式を満足するような最適探索強度を$\alpha^*(\bar{V})$と表そう．以上では，期待生涯効用$\bar{V}$を与件として，最適な保留効用水準，探索強度を求める問題を考えた．一方，Bellman の最適性原理より期待生涯効用は式 (2.25)

を満足しなければならない．すなわち，次式が成立する．

$$r\bar{V} = -C(\alpha^*(\bar{V})) + \pi^*(\bar{V})q(\alpha^*(\bar{V}), \hat{\alpha}^*(\bar{V}))\{EV^*(\bar{V}) - \rho\bar{V}\} \tag{2.33}$$

すべての個人が所与の主観的期待 $E^s[n/m]$ の下で，式 (2.32),(2.33) を同時に満足するような探索戦略 $\alpha^*(\bar{V})$ と均衡水準 $\bar{V}$ を達成した時，ミーティング過程は均衡状態にあると考えることができる．ここで，探索戦略，均衡水準が変化すれば，それと対応して期待値 $E^s[n/m]$ が変化することに着目しよう．したがって，ミーティング過程の長期均衡状態を定義するためには，個人の主観的期待 $E^s[n/m]$ の均衡状態を定義する必要がある．

2.6 ミーティング均衡

2.6.1 ミーティング過程の特性

ミーティング過程では，ミーティング相手の探索とマッチングされた相手との合意形成が繰り返される．ミーティングから得られる効用は，相手と出会った時点で明らかになるが，相手を探索している段階ではその値を確定的に把握することはできない．さらに，ミーティング過程では，特定の相手と交渉が繰り返されるのではなく相手がランダムに代わっていく．相手との交渉の結果を逐一記憶していくことは不可能に近い．このような状況の中で個々人が完全な合理性を追求するとは考えにくい．むしろ，限られた情報獲得能力の中で，主観的期待や行動を逐次修正していくと考えた方が現実的であろう．このような限定合理性の下で，各個人の行動は，互いに調整されやがて定常政策に収束していく[17)]．各プレーヤは各時刻において，実現するであろうミーティングにおいて獲得できる効用水準や真のミーティング形成確率について確実な情報を持ち得ない．このような不確実な情報の中で知り得る情報は，ミーティングで獲得できる期待効用とミーティングの長期的な形成頻度のみである．このような不確実な環境の下で各個人は意思決定を繰り返しながら，意思決定環境に関して合理的期待[18)]を形成し最適な探索政策を採用する．ミーティング形成確率に関する主観的期待が合理的期待に収束するとともに，個々人の探索戦略は長期的な定常政策に収束していくと考える．このような最適な長期定常戦略を，合理的期待均衡[7)]の下での定常ナッシュ均衡として定式化してみよう．

2.6.2 合理的期待均衡

微小時間におけるミーティング生成・死滅強度がそれぞれ式 (2.10),(2.11) で表されるとき，式 (2.5a)-(2.5c) より，マッチングされた相手がミーティングを行っていない確率（以下，遭遇確率と呼ぶ）は次式で定義される．

$$E\left[\frac{n}{m}\right] = \frac{\sum_{n=0}^{m} nx^n\psi(n)}{\sum_{n=0}^{m} mx^n\psi(n)} = f(x) \tag{2.34}$$

なお，$x = \beta/\{\pi(\alpha+\hat{\alpha})\}$, $\psi(n) = \prod_{i=1}^{n} m(m-i)/\{i(2i+3)\}$,$\psi(0) = 1$ であり，$E[n/m]$ は $x = \beta/\{\pi(\alpha+\hat{\alpha})\}$ の関数 $f(x)$ を用いて表現できる．個人の対称性 $(\alpha = \hat{\alpha})$ を考慮すれば，$x = \beta/\{2\pi\alpha\}$ と表せる．m が十分

に大きいとき $f(x)$ は次式で近似できる（**付録 2.II** 参照）.

$$f(x) = \frac{1}{2}\sqrt{x^2 + 4x} - \frac{x}{2} \tag{2.35}$$

$f(x)$ は増加かつ凹関数であり，$f(0) = 0, f(\infty) = 1$ である．個人は，日々のミーティング行動を通じてマッチング相手の遭遇確率に関する合理的期待を形成する．式 (2.32) より，遭遇確率に関する主観的期待が異なれば，個人が採用する探索戦略も異なる．個人は遭遇確率の学習を繰り返しつつ探索戦略を逐次修正する．このような学習過程は，ベイズ学習モデル[7)]を用いて定式化できるが，その詳細は別の機会に発表する．いま，すべての個人が主観的期待を修正するインセンティブをもたないような合理的期待均衡に収束したと仮定しよう．このような合理的期待均衡は

$$\frac{\partial C}{\partial \alpha^*} = \pi^*(EV^* - \rho V^*) f\left(\frac{\beta}{2\pi^*\alpha^*}\right) \tag{2.36a}$$

$$rV^* = -C(\alpha^*) + 2\pi^*\alpha^*(EV^* - \rho V^*) f\left(\frac{\beta}{2\pi^*\alpha^*}\right) \tag{2.36b}$$

を同時に満足する $(\alpha^*, \cdots, \alpha^*; V^*, \cdots, V^*)$ として定義できる．ただし，$\pi^* = \pi^*(V^*), EV^* = EV^*(V^*)$ はそれぞれ均衡効用 V^* を用いて定義した最適合意確率 (2.30)，最適期待効用 (2.31) である．式 (2.36a) は個人の最適探索行動に関する条件式を意味している．式 (2.36b) は合理的期待均衡において，保留効用の現在価値がミーティング相手を探索することで得られる純期待便益が等しくなることを意味しており，均衡効用水準を定義している．式 (2.36a),(2.36b) より，合理的期待均衡において次式が成立する．

$$rV^* = (2\eta - 1)C(\alpha^*) \tag{2.37}$$

ここに，$\eta = \{\partial C(\alpha)/\partial \alpha\}/\{C(\alpha)/\alpha\} > 1$ は費用関数の弾力値であり，均衡効用は探索情報費用にマークアップ率 $2\eta - 1$ を乗じた値となる．

2.6.3　比較静学分析

交通・通信ネットワークの整備がミーティング均衡に及ぼす影響を分析する．ひとまず V を与件と考えよう．ミーティング費用 c，保留効用水準 H は合意形成行動に以下のような影響を及ぼす（**付録 2.III** 参照）.

命題 2.1　期待生涯効用 V を与件とした場合，ミーティング費用，保留効用水準が合意形成行動に及ぼす直接的な影響は以下のように評価できる．

$$\left.\frac{\partial \pi}{\partial c}\right|_{V=const.} \leq 0 \qquad \left.\frac{\partial \pi}{\partial H}\right|_{V=const.} \leq 0$$

$$\left.\frac{\partial EV}{\partial c}\right|_{V=const.} \leq 0 \qquad \left.\frac{\partial EV}{\partial H}\right|_{V=const.} \geq 0$$

命題 2.1 より，ミーティング費用の上昇はミーティングの合意形成確率を低下させるとともにミーティングの期待効用を低下させる．保留効用水準の増加は合意形成確率を低下させるがミーティングの期待効用が上昇することに着目しよう．保留効用水準が上昇すれば，個人はより効用の高いミーティングを選択するようになり，結果としてミーティングの期待効用 EV は上昇する．

以上では期待生涯効用を一定と考えて，ミーティング費用や保留効用水準がミーティング合意形成行動に及ぼす影響を分析した．しかし，ミーティング費用の変化は個人の情報探索行動を変化させ，結果として生涯効用水準やミーティング生成頻度に影響を及ぼす．ミーティング費用 c の変化がミーティング均衡に及ぼす影響は以下の命題に整理できる（**付録 2.III** 参照）．

命題 2.2　探索費用関数が条件 (2.24) を満足するとき，ミーティング費用 c の変化はミーティング均衡に以下のような影響を及ぼす．

$$\frac{dV}{dc} \leq 0 \quad \frac{d\alpha}{dc} \leq 0 \quad \frac{dE[n/m]}{dc} \gtreqless 0$$

命題 2.2 は任意の $m > 0$ に対して成立する．**命題 2.2** よりミーティング費用の増加は均衡効用，探索努力を減少させる．しかし，ミーティング費用がミーティング期待生起頻度 $1 - E[n/m]$ に及ぼす影響は複雑である．いま，$dE[n/m]/dc$ を展開すれば次式を得る（**付録 2.III** 参照）．

$$\frac{\frac{dE}{dc}}{\frac{E}{c}} = -\frac{\frac{\partial E}{\partial x}}{\frac{E}{x}}\left\{\frac{\frac{\partial \pi}{\partial c}}{\frac{\pi}{c}} + \frac{\frac{d\alpha}{dc}}{\frac{\alpha}{c}} + \frac{\frac{\partial \pi}{\partial V}}{\frac{\pi}{V}}\frac{\frac{dV}{dc}}{\frac{V}{c}}\right\} \tag{2.38}$$

ここに，$E = E[n/m]$ である．上式の左辺は，交通施設の整備状況がミーティングの生起頻度に及ぼす影響を変化率を用いて定義したものである．右辺も同様に変化率を用いて定義している．式 (2.38) の右辺第１項はミーティング費用の変化が合意確率に及ぼす直接的な効果を，第２項はミーティング費用の変化が探索努力に影響を及ぼし，結果的にミーティング過程における混雑現象を克服することにより生じる間接的な効果を表している．第３項はミーティング費用の変化が期待生涯効用を変化させ，それがミーティングの合意確率に及ぼす間接効果であり，**2.3.3** で述べた市場薄の外部不経済に該当する．各項の符号を検討することにより，交通施設の整備 (c の減少）により右辺第１項，第２項は増加するが，第３項は逆に減少することが理解できる（**付録 2.III** 参照）．すなわち，交通施設の整備がミーティング生起頻度に及ぼす影響は，第１項，第２項で表される直接・間接効果と第３項で表される市場薄の外部不経済の大きさの相対的な関係に依存している．市場薄の外部不経済が第１項，第２項を卓越する場合には，交通施設の整備は期待生涯効用を増加させるが，ミーティングの生起頻度は減少するという事態が生じる．このことはフェイス・ツゥ・フェイスのコミュニケーションに関する重要な政策課題を示唆しているが，それに関しては次節で改めて言及する．

つぎに，情報・通信技術の発展がミーティング均衡に及ぼす影響を分析しよう．技術水準を表すパラメー

タ$\zeta > 0$を導入した費用関数$C(\alpha : \zeta)$を考える．費用関数は以下の性質を満足すると仮定する．

$$\frac{\partial C(\alpha : \zeta)}{\partial \zeta} \geq 0, \quad \frac{\partial^2 C(\alpha : \zeta)}{\partial \zeta \partial \alpha} \geq 0 \quad \frac{\partial \eta(\zeta)}{\partial \zeta} \geq 0 \tag{2.39}$$

情報・通信技術の発展によりζが減少すると考える．ここに，以下の命題が成立する（**付録2.III**参照）．

命題2.3　情報通信技術の変化はミーティング均衡に以下のような影響を及ぼす．

$$\frac{dV}{d\zeta} \gtreqless 0 \quad \frac{d\alpha}{d\zeta} \geq 0 \quad \frac{dE[n/m]}{d\zeta} \gtreqless 0$$

すなわち，情報通信技術の発展（ζの減少）により探索努力αは減少する．ζの減少は探索努力を減少させるが，均衡効用が一定である限り合意確率に影響を及ぼさない．探索努力の減少はミーティングの生起頻度を減少させるが，一方で遭遇確率の増加を引き起こす．遭遇確率の増加は，結果的にマッチングの期待効用を増加させる効果を持つ．その結果，ζの減少が探索努力の減少と同時に遭遇確率の増加という拮抗した変化をもたらすため，均衡効用やミーティングの生起頻度に及ぼす変化の方向を定性的に確定することはできない．

2.6.4　政策論的含意

交通施設の整備はミーティング費用の減少をもたらす．しかし，式(2.38)に示したようにその効果は複雑である．ミーティング費用の低減は，**命題2.1**に示したようにミーティングの期待便益$\bar{v} - c + \varepsilon$を増加させ合意確率$\pi$を増加させる．また，個人の探索努力$\alpha$も増加する．その結果，ミーティングの生起頻度は増加し，ミーティング過程の混雑も増大する．一方，交通施設の整備はミーティング過程で得られる期待生涯効用Vを増加させる方向に作用するが，その結果個人の保留効用Hの増加を招く．すなわち，個人はより高い効用をもたらすミーティングを選択するようになる．**命題2.1**に示すように，保留効用Hの増加は，ミーティング合意確率πの減少をもたらす．すなわち，市場薄の外部不経済性が生じる．したがって，**命題2.2**に示すように交通施設整備がミーティングの期待形成数$1 - E[n/m]$（言い換えれば，交通トリップの生成数）に及ぼす影響については，それを増加させる作用と減少させる作用が同時に働くため確定的なことは言えない．交通施設整備によりフェイス・ツゥ・フェイスのコミュニケーション需要が減少する可能性を否定できない．一方，**命題2.2**より，交通施設の整備により１）ミーティング費用の減少と，２）保留効用の増大が生じるため個人の長期効用は必ず増加することが保証される．特に，２）の効果はより大きな効用を与えてくれるミーティングを選択することにより達成される効果である．このように交通施設の整備がフェイス・ツゥ・フェイスのコミュニケーションに及ぼす効果は，１）ミーティング回数（トリップ生成量）の変化，２）ミーティングの付加価値の変化に分類できる．すなわち，**命題2.2**は，交通施設の整備がミーティング行動にもたらす効果は，ミーティング回数が変化することだけでなく，ミーティン

グの付加価値が増加する点にあることを指摘している．このため，交通需要の増加のみに着目して，交通施設の整備便益を評価することは便益の過小評価となろう．特に，交通施設を整備してもミーティングの生起頻度がそれほど変化しない場合には，ミーティングの付加価値の変化が主要な効果として現れる．式(2.37) より均衡効用水準はマークアップされた探索情報費用に一致する．このことは情報・通信ネットワークを用いた探索情報費用を用いて交通施設の整備便益を計量化しうることを示唆している．一方，**命題 2.3** は，通信・情報技術の発展は，必ずしもミーティングの付加価値の上昇をもたらすとは限らず，より付加価値の低いミーティングを形成するにとどまる危険性があることを示唆している．ミーティングの付加価値を上昇させるためには交通施設の整備等を通じたミーティング費用の低減が不可欠である．なお，本章では情報通信技術を単にミーティング相手の探索手段としてのみ位置づけている．本来，情報通信技術の主たる役割はメッセージ・情報の伝達にあり，メッセージ・情報伝達の高度化がもたらす経済効果は多大なものであろう．この種の便益を測定するためには，交通手段と情報通信手段の選択を同時に考慮したようなモデルの開発が必要である．

2.6.5　モデルの発展可能性

現実のミーティング過程は，非常に複雑な内容と様式を有しており，本モデルはその一断面を切り取って表現したものにすぎない．本モデルで得られた結論は，２人ミーティング，個人の同質性，ミーティング相手の歴史的非依存性という厳しい仮定の中で導かれたものである．今後，ミーティング過程に関する知見を深めていくためには，これらの仮定を緩めると同時に代替的なモデルの枠組みを開発していく必要がある．本節では，このようなモデルの発展可能性について若干の考察を行っておくこととする．

第１に，現実のミーティング過程においては学会・組織等が開催する会議，シンポジウム等の多人数ミーティングが重要な役割を果たしている．多人数ミーティングは，情報・知識の交換効率を増加させると同時に探索情報費用を大幅に節約する．多人数ミーティングが開催されるためには，それを組織化する個人や組織が必要となる．個々人がミーティングに対して支払い意思を持つ限り，そこに利潤機会やより高度な効用を獲得できる機会が生まれ，多人数ミーティングが自発的に形成される．このような多人数ミーティングや各種の人的ネットワークの形成メカニズムは探索情報費用の外部経済性に基づいて表現することが可能である．第２に，個人の選好の異質性を考慮する必要がある．また情報探索技術も個人によって多様に異なるだろう．個人間に選好や探索技術の差異が存在すれば，特定の人間に必要以上のミーティングの申し込みが殺到するという information pollution が生じたり，ミーティング相手の探索過程における非効率性の問題が生じる．特に，個人間で選好に異質性が存在する場合，選好を共有する個人同士がクラブを形成し，限られたメンバーでミーティングを繰り返す．多くの人的ネットワークや組織は，異なる選好や技術を有する個人がミーティングを繰り返す中で，自発的に形成されたものである．このような人的ネットワークの自己組織化過程のある側面は，進化論ゲーム[19)20)]を用いて記述できよう．第３のミーティング過程の歴史的依存性は，前述したようなクラブや組織の形成過程を記述することにより部分的ではあるが表現することは可能である．しかし，個々人が学習過程を通じて人的なネットワークを拡大していく過程を

ランダムマッチング技術により表現することは難しい．少なくとも，ランダムマッチングとは異なる概念を用いた分析枠組みを開発する必要があるだろう．最後に，異質な個人の相互作用により生じる人的ネットワークの自己組織化過程は複雑な非線形性を有していることを指摘しておきたい．自己組織化の過程の中で，ある特定の個人やグループがネットワーク中心となりスター的な役割を果たすこともある．複雑な非線形性を有するミーティング過程は複数の定常均衡解を有しており，交通施設の整備は人的ネットワーク構造を基本的に変化させる可能性がある．このようなネットワークの自己組織化とその分岐に関する分析が今後重要な研究課題になると考える．

2.7　結言

本章では，同質な個人により「個人情報・近視眼的戦略・逐次決定」方式で行われる２人ミーティング過程をとりあげ，そこで生じるミーティング均衡の特性について理論的な分析を試みた．ミーティング均衡には複数主体間の意思決定の相互作用に起因する市場薄の外部性や混雑が生じる．そのために，フェイス・ツゥ・フェイスのコミュニケーションが，ミーティング相手の探索行動と合意形成行動により構成されることを指摘し，個人のミーティング行動をBellmanの最適性原理を用いて表現した．さらに，長期定常状態において実現するミーティング均衡を合理的期待均衡として記述した．本章の理論分析における重要な知見の１つは，交通施設整備が交通需要の量的な変化だけでなく，ミーティングの付加価値の上昇という質的な変化をもたらすことを明らかにした点にある．著者の知る限り，このような交通施設整備によるフェイス・ツゥ・フェイスのコミュニケーションの質的な変化を指摘した研究事例は見あたらない．

なお，**2.5.5**において今後の研究課題について考察したが，本章で提案したモデルの拡張・発展という点に焦点を絞っても以下のような課題が残されている．第１に，本モデルではある１つの都市の中で繰り返されるミーティング過程を対象としたが，今後，空間や都市システムを明示的に組み込んだようなモデル化が必要となろう．非常に初歩的な段階ではあるが，都市システムにおけるミーティング過程のモデル化を試みている例が存在する[15)]が，本章で指摘したような外部経済性を考慮したようなモデルの拡張が必要となろう．第２に，家計だけでなく企業間・企業内部でのミーティング過程のモデル化も必要である．特に，ミーティング過程における集積の経済性に関するミクロ経済分析は，都市核や都市システムの自己組織化の過程を理解するための基礎研究になろう．最後に，実証分析が残されている．ミーティング過程を記述する上で核となるマッチング行動に関しては，小林他が提案したランダムマッチングモデル[8)]が適用可能である．残念ながら，都市内で繰り返されているミーティングに関して利用可能なデータは極めて乏しいのが実状である．ミーティング調査の方法論も含めて，実証分析に向かっても極めて多くの研究課題が残されていると言わざるを得ない．このように今後に残された研究課題は極めて多い．しかし，本章の研究を通じて，従来その重要性が指摘されながらも，ほとんど研究がなされなかったフェイス・ツゥ・フェイスのコミュニケーション過程の数学的モデル化の可能性について一つの方向性を示し得たと考える．

付録 2.I 定常再帰方程式の導出

定常状態では $V(t+\Delta t+T)=V(t+\Delta t)(T>0)$ が成立すると仮定しよう．式 (2.21) において積分を実行すれば $R(t+\Delta t)=EV+\upsilon V(t+\Delta t)$ が成立する．ただし，$\upsilon=\beta/(r+\beta)$ である．式 (2.23) より次式を得る．

$$\frac{r\Delta t}{1+r\Delta t}V(t)=\max_{\alpha\geq 0,H}\left\{-C(\alpha)\Delta t+\frac{\pi q\Delta t}{1+r\Delta t}[EV+(\upsilon-1)V(t+\Delta t)]+\frac{1}{1+r\Delta t}\{V(t+\Delta t)-V(t)\}\right\}.$$

上式の両辺を $\Delta t/(1+r\Delta t)$ で除することにより

$$rV(t)=\max_{\alpha\geq 0,H}\left\{-C(\alpha)(1+r\Delta t)+\pi q[EV+(\upsilon-1)V(t+\Delta t)]+\frac{V(t+\Delta t)-V(t)}{\Delta t}\right\}$$

を得る．定常状態で，$\lim_{\Delta t\to 0}V(t+\Delta t)=V(t)=V$, $\lim_{\Delta t\to 0}\{V(t+\Delta t)-V(t)\}/\Delta t=0$ が成立することに留意すれば，$\Delta t\to 0$ の極限において次式が成立する．

$$rV=\max_{\alpha\geq 0,H}\{-C(\alpha)+\pi q(\alpha)(EV-\rho V)\}$$

ただし，$\rho=r/(r+\beta)$ である．

付録 2.II　$E[n/m]$ の導出

$P(m+1)=0$ が成立することに留意すれば，$E[n^2]=\sum_{n=0}^{m}(n+1)^2P(n+1)$, $E[n]=\sum_{n=0}^{m}(n+1)P(n+1)$ が成立．また，$E[n(2n+1)]=2E[n^2]+E[n]$ は明らか．一方，式 (2.4),(2.10),(2.11) より次式を得る．

$$\begin{aligned}E[n(2n+1)]&=\sum_{n=0}^{m}(n+1)(2n+3)P(n+1)\\&=\sum_{n=0}^{m}(n+1)(2n+3)\frac{2m\beta(m-n)}{\overline{\alpha}\pi(n+1)(2n+3)}P(n)\\&=\frac{2m\beta}{\overline{\alpha}\pi}\sum_{n=0}^{m}(m-n)P(n)=\frac{2m\beta}{\overline{\alpha}\pi}\{m-E[n]\}\end{aligned}$$

$\overline{\alpha}=\alpha+\hat{\alpha}$ である．したがって，次式を得る．

$$E[n^2]=-\frac{E[n]}{2}+\frac{m\beta}{\overline{\alpha}\pi}\{m-E[n]\}$$

両辺を m^2 で割り $m\to\infty$ の極限をとれば次式が成立.

$$E\left[\left(\frac{n}{m}\right)^2\right]=\frac{\beta}{\overline{\alpha}\pi}\left\{1-E\left[\frac{n}{m}\right]\right\} \tag{2.40}$$

一方，式 (2.34) の両辺を x に関して微分すれば

$$\frac{dE\left[\frac{n}{m}\right]}{dx}=\frac{m}{x}Var\left[\frac{n}{m}\right] \tag{2.41}$$

を得る．ここに，$Var[n/m]=E[(n/m)^2]-E[n/m]^2$ は分散である．任意の m に対して $0\leq E[n/m]\leq 1$, $0\leq E[(n/m)^2]\leq 1$ が成立し，分散 $Var[n/m]$ は任意の m に関して $0\leq Var[n/m]\leq 1$．$E[n/m]$ は x の関

数 $0 \le f(x) \le 1$．式 (2.41) より，$\lim_{x\to 0} \partial f(x)/\partial x = \infty, \lim_{x\to\infty} \partial f(x)/\partial x = 0$．中間値の定理より，任意の $\infty > u > 0$ に対して $dE[n/m]/dx = u$ となる x が存在する．任意の m に対して $dE[n/m]/dx = u$ が成立するためには $\lim_{m\to\infty} Var[n/m] = 0$ でなければならない．すなわち，十分大きな m に対して近似的に

$$\left\{E\left[\frac{n}{m}\right]\right\}^2 + \frac{\beta}{\bar{\alpha}\pi}E\left[\frac{n}{m}\right] - \frac{\beta}{\bar{\alpha}\pi} = 0 \tag{2.42}$$

が成立する．式 (2.42) より次式を得る．

$$E\left[\frac{n}{m}\right] = \frac{1}{2}\sqrt{\left(\frac{\beta}{\bar{\alpha}\pi}\right)^2 + 4\frac{\beta}{\bar{\alpha}\pi}} - \frac{1}{2}\frac{\beta}{\bar{\alpha}\pi}$$

付録 2.III　命題の証明

命題 2.1 π の定義より，$\partial\pi/\partial c \le 0, \partial\pi/\partial H \le 0$ は明白．$y = \bar{v} - \delta(c + H)$ を定義する．$\delta\gamma = 1$．式 (2.18) より $\partial EV/\partial c = -1 + (y\phi/\Phi + \phi^2/\Phi^2)$．Mill's ratio[21] の公式より任意の y に対して $1 \ge y\phi/\Phi + \phi^2/\Phi^2 \ge 0$ が成立[22]．これより $\partial EV/\partial c \le 0$．同様に，$\partial EV/\partial H = y\phi/\Phi + \phi^2/\Phi^2 \ge 0$ も自明．

命題 2.2 まず，以下の導関数の符号を評価する．i) 式 (2.41) より $\partial E[n/m]/\partial x \ge 0$．ii) **命題 2.1** より $\partial(EV - \rho V)/\partial c = y\phi/\Phi + \phi^2/\Phi^2 - 1 \le 0$ iii) 仮定より $\partial C/\partial\alpha \ge 0$, $\partial^2 C/\partial\alpha^2 \ge 0$, $\partial\eta/\partial\alpha \ge 0$．iv) $f(x)$ が単調増加凹関数，かつ $f(0) = 0$ であることより，$f - (\partial f/\partial x)x \ge 0$ が成立．式 (2.36a),(2.37) の両辺を均衡解 x^*, α^*, V^* の近傍で全微分すれば

$$\begin{aligned}
&\Xi_c^a dc + \Xi_V^a dV - \Xi_\alpha^a d\alpha = 0 \\
&r dV - \Xi_\alpha^b d\alpha = 0
\end{aligned} \tag{2.43}$$

を得る．$\Xi_c^a = \{f^* - (\partial f^*/\partial x^*)x^*\}(\partial\pi^*/\partial c)(EV^* - \rho V^*) + \pi^* f^*\{\partial(EV^* - \rho V^*)/\partial c\} \le 0$, $\Xi_\alpha^a = \partial^2 C^*/\partial\alpha^2 + \pi^*(EV^* - \rho V^*)(\partial f^*/\partial x^*)(x^*/\alpha^*) \ge 0, \Xi_V^a = \pi^* f(x^*)\partial(EV^* - \rho V^*)/\partial V^* + (\partial\pi^*/\partial V^*)(EV^* - \rho V^*)\{f^* - (\partial f^*/\partial x^*)x^*\} \le 0$, $\Xi_\alpha^b = (2\partial\eta^*/\partial\alpha^*)C^* + (2\eta^* - 1)(\partial C^*/\partial\alpha^*) \ge 0$ である．式 (2.43) より

$$\begin{aligned}
\frac{d\alpha}{dc} &= \frac{\Xi_c^a}{\Xi_\alpha^a - \Xi_V^a \Xi_\alpha^b / r} \le 0 \\
\frac{dV}{dc} &= \frac{\Xi_\alpha^b}{r}\frac{\partial\alpha}{\partial c} \le 0.
\end{aligned}$$

一方，$\partial E[n/m]/\partial c = -(\partial f^*/\partial x^*)x^*\{(\partial\alpha^*/\partial c)/\alpha^* + (\partial\pi^*/\partial c)/\pi^* + (\partial\pi^*/\partial V^*)(\partial V^*/\partial c)/\pi^*\}$．$\partial\alpha^*/\partial c \le 0, \partial\pi^*/\partial c \le 0, \partial V^*/\partial c \le 0, \partial\pi^*/\partial V^* < 0$ より $\partial E[n/m]/\partial c$ の符号は不定．両辺を E/c で割れば式 (2.38) を得る．

命題 2.3 均衡解の近傍で

$$\begin{aligned}
&\Xi_\eta^{a'} d\zeta - \Xi_V^{a'} dV - \Xi_\alpha^{a'} d\alpha = 0 \\
&r dV - \Xi_\zeta^{b'} d\zeta - \Xi_\alpha^{b'} d\alpha = 0
\end{aligned} \tag{2.44}$$

を得る．なお，仮定より $\Xi_\zeta^{a'} = \partial^2 C^*/\partial\alpha\partial\zeta \ge 0, \Xi_\alpha^{a'} = -\pi^*(EV^* - \rho V^*)(\partial f^*/\partial x^*)(x^*/\alpha^*) - \partial^2 C^*/\partial\alpha^2 \le 0, \Xi_V^{a'} = \pi^* f(x^*)\partial(EV^* - \rho V^*)/\partial V^* + (\partial\pi^*/\partial V^*)(EV^* - \rho V^*)\{f^* - (\partial f^*/\partial x^*)x^*\} \le 0, \Xi_\zeta^{b'} = 2(\partial\eta/\partial\zeta)C^*$

$+ (2\eta - 1)\partial C^*/\partial\zeta \geq 0$, $\Xi_\alpha^{b'} = (2\eta - 1)\partial C^*/\partial\alpha \geq 0$. 式 (2.44) より次式が成立する.

$$\frac{d\alpha}{d\zeta} = \frac{\Xi_\zeta^{a'} - \Xi_V^{a'}\Xi_\zeta^{b'}/r}{\Xi_\alpha^{a'} + \Xi_V^{a'}\Xi_\alpha^{b'}/r} \geq 0$$
$$\frac{dV}{d\zeta} = \frac{\Xi_\zeta^{a'}\Xi_\alpha^{b'} + \Xi_\alpha^{a'}\Xi_\zeta^{b'}}{r\Xi_\alpha^{a'} + \Xi_V^{a'}\Xi_\alpha^{b'}} \gtreqless 0.$$

命題 2.2 と同様の方法で $dE[n/m]/d\eta$ の符号が不定であることを示すことができる.

参考文献

1) 小林潔司：知識社会における交通行動：課題と展望，土木計画学研究・論文集，No.12，pp.1〜13, 1995.

2) 小林潔司，福山敬，松島格也: フェイス・ツゥ・フェイスのコミュニケーション過程に関する理論的研究，土木学会論文集，No.590/IV-39, pp. 11-22, 1998.

3) Kobayashi, K., K. Fukuyama, and K. Matsushima: Face-to-face Contacts and Matching Equilibrium, in Lennart Andersson and Thomas Blom (eds.): Sustainability and Development, pp.115-126, Proceedings, Karlstad, Sweden, 1998.

4) Daganzo, C. F. and Y. Sheffi: On Stochastic Models of Traffic Assignment, *Transportation Science*, Vol. 11, pp. 253-255, 1977.

5) Fisk, C.: Some Developments in Equilibrium Traffic Assignment, *Transportation Research*, Vol. 14, B(3), pp. 243-255, 1980.

6) 小林潔司: 不完備情報下における交通均衡に関する研究, 土木計画学研究・論文集, No.8, pp. 81-88, 1990.

7) Kobayashi, K.: Information, Rational Expectations and Network Equilibria, *The Annals of Regional Science*, Vol. 28, pp. 369-393, 1994.

8) 小林潔司, 喜多秀行, 多々納裕一: 送迎・相乗り行動のためのランダム・マッチングモデルに関する研究, 土木学会論文集, No. 536/IV-31, pp. 49-58, 1996.

9) 森川高行: 個人選択モデルの再構築と新展開，土木計画学研究・論文集, No. 12, pp. 15-27, 1995.

10) McMillan, J. and M. Rothschild: Search, in: Aumann, R. J. and Hart, S. (eds.), *Handbook of Game Theory*, North-Holland, Vol. 2, pp. 905-927, 1994.

11) Diamond, P. A. : *A Search Equilibrium Approach to the Micro Foundation of Macroeconomics*, The MIT Press, 1984.

12) Mortensen, D. T. : The Matching Process as a Noncooperative Bargaining Game, in: McCall, J. J. (ed.), *The Economics of Information and Uncertainty*, pp. 233-258, University of Chicago Press, 1982.

13) Howitt, P. : Costly Search Recruiting, in: Howitt, P., *The Keynesian Recovery and Other Essays*, pp. 177-196, Philip Allan, 1990.

14) Roth, A. and M.A.O., Sotomayor: *Two-Sided Matching, A Game-Theoretic Modeling and Analysis*, Cambridge University Press, 1990.

15) Binmore, K. and P. Dasgupta (eds.): *The Economics of Bargaining*, Basil Blackwell, 1987.

16) Bellman, R.: *Dynamic Programming*, Princeton University Press, 1957.

17) Kreps, D. M.: *Game Theory and Economic Modeling*, Oxford University Press, 1990. （高森寛, 大住栄治, 長野透訳: 経済学のためのゲーム理論, マグロウヒル, 1993.）

18) Muth, J. F.: Rational Expectations and the Theory of Price Movements, *Econometrica*, Vol. 29, pp. 315-335, 1961.

19) Weibull, J. W.: *Evolutionary Game Theory*, The MIT Press, 1995. （大和瀬達二監訳：進化ゲームの理論，オフィスカノウチ，1998.）

20) Vega-Redondo, F.: *Evolution, Games and Economic Behaviour*, Oxford University Press, 1996.

21) Mills, J. F.: Table of the ratio: Area to bounding ordinate for any portion of normal curve, *Biometrica*, Vol. 18, pp. 395-400, 1926.

22) Maddala, G. S.: *Limited-Dependent and Qualitative Variables in Econometrics*, pp. 165-170, Cambridge University Press, 1983.

23) 福山敬，小林潔司: 地域間の人的交流行動分析のためのランダム・マッチングモデルに関する研究，第32回都市計画学会学術研究論文集，pp. 139-144, 1997.

3 個人の異質性とコミュニケーション均衡

3.1 緒言

前章において交通トリップ生成の要因となる同質な個人によるコミュニケーション過程をモデル化した．都市に複数のタイプの個人が併存する場合，ミーティング過程においてミーティング相手のタイプに関する情報の利用可能性がミーティングの形成過程に大きな影響を及ぼす[1)2)]．ミーティング相手のタイプに関する情報が存在しない場合，ミーティング相手のタイプはミーティングが形成された事後において判明する．一方，ミーティング相手に関する完全情報を有する場合，個人は交渉相手のタイプを踏まえてミーティングの形成に合意するか否かを決定することができる．また，ミーティングの合意形成の可能性を考慮しながら，効果的にミーティング相手を探索することも可能であろう．個人のミーティング相手に関する選好に異質性が存在する場合，生じるミーティング均衡解は複数存在する可能性があり，その結果**1.4.3**で述べたような望ましいマッチング相手とミーティングが開催できないという調整の失敗が生じうる．

本章では２種類のタイプの個人が互いに相手を換えながらミーティングを繰り返す社会に着目する．さらに，異なるタイプの個人の間で成立する長期的なミーティング形成パターンの集団的な均衡状態を進化ゲームを用いてモデル化する．この場合，ミーティング相手のタイプに関する情報の有無，異なるタイプ間でのミーティングに対する選好の違いがミーティング均衡の効率性に本質的な影響を及ぼす可能性がある．また，情報の有無やタイプ間での選好の異質性により，個人がミーティング行動により獲得する効用水準の間に格差が現れる可能性もあろう．すなわち**1.5.2**で述べた情報提供による市場の失敗の解決策がミーティング均衡にどのような影響を及ぼすかについて分析する必要がある．

本章では，２種類のタイプの個人の間で繰り返されるミーティング過程において長期的に成立するミーティング均衡について分析する．その際，最も基本的なミーティングの形態である２人ミーティングに焦点を絞る．以下，**3.2**で従来の研究概要について述べる．**3.3**及び**3.4**では，それぞれ無情報下，完全情報下でのミーティング均衡を定式化し，**3.5**でミーティング均衡の特性について分析する．

3.2 既存の研究概要

フェイス・ツゥ・フェイスのコミュニケーション過程では，ミーティング相手の探索行動が重要な意味を持つ．探索行動に関してはオペレーションズ・リサーチにおいて探索理論[3)]という分野が確立している．探索理論を用いて取引費用を伴う市場均衡の非効率性に関して研究が蓄積されている[4)−19)]．また，ゲーム理論ではtwo-sided matching game理論として発展しつつある[7)]．これらの研究の特徴は，需要者と供給者という２種類の異なるサイドの間の市場取引を分析した点にある．フェイス・ツゥ・フェイスのコミュニケーションにおいては，各個人がミーティングの需要者と供給者としての役割を状況に応じて演じ分けているという特徴がある．このように同一の個人が双方の役割を果たすようなコミュニケーション行動を表す手段として，本章ではランダム・マッチングゲームを用いる．

ミーティング過程において，各個人は互いにミーティング相手を探索すると同時に，相手から申し込ま

れたミーティングを受諾するか否かという戦略を持っている．各個人は最適な戦略を非協力的に採用しながら，互いに相手を換えながらミーティング行動を繰り返すこととなる．個々人はランダムにマッチングされ，社会全体でどのような戦略をとる人がどの程度存在するかを知り自らの戦略を決定する．このようなランダムマッチングの結果生じる集団的な均衡解とその安定性は進化ゲームを用いて分析することができる．周知のとおり Maynard-Smith[8)]が進化生物学の分野で開発した進化ゲームは，その後経済学の分野においても精緻化が進められている[9)−13)]．そこでは，外生的なランダムマッチングの中で成立するプレイヤーの戦略の集団的均衡を分析することに主眼が置かれており，通常ランダムマッチングがどのように生起するかは議論されない．しかし，フェイス・ツゥ・フェイスのコミュニケーション過程では，ランダムマッチングが個人の探索行動の結果として生起しており，ランダムマッチングの生起パターンを内生的に説明する必要が生じる．

一方，小林等は同質な個人集団において繰り返されるミーティング過程をモデル化し[14)15)]，ミーティング過程で生じる混雑現象，市場薄現象という外部不経済性を分析した．ミーティングが成立するためには，ミーティング相手の合意をとることが前提となる．ある個人がミーティングに合意しない場合，ミーティング相手がミーティングに賛同していてもミーティングは実現しない．異質な個人により繰り返されるミーティング過程には，個人間の意思決定の相互性に起因して，潜在的なミーティング交渉相手とのマッチングに失敗するという調整の失敗 (coordination failure) という外部不経済が生じる．事前にミーティング相手に関する情報が利用可能か否かによって，ミーティング過程で生起するミーティング均衡が異なった性格を持つ．情報の利用可能性と均衡の効率性の関係に関しては，情報の経済学を中心として研究が蓄積されている[16)]．本章ではミーティング過程における長期均衡の問題をランダム・マッチングゲームとして把握し，ミーティング過程の集団均衡とその進化的安定性について考察する．さらに，ミーティング相手のタイプに関する情報の有無がミーティング均衡に及ぼす影響を分析する．

3.3 無情報下でのミーティング均衡

3.3.1 モデル化の前提条件

異なる特性と選好を有する２種類のタイプの個人が互いにミーティング相手を変えながらミーティングを繰り返す社会を考える．それぞれのタイプの人数をN_1人，N_2人（$N_1 + N_2 = N$）とする．一般性を損なうことなく，$N_1 \geq N_2$を仮定する．各個人はそれぞれの個人的な情報に基づいてミーティングを行う相手を探索する．ミーティング相手が見つかったり，あるいは他人からミーティングの申し込みがあり，２人の個人が互いにカップリングされる現象をマッチングと呼ぶ．マッチングが生成しても，直ちにミーティングが形成されるわけではない．マッチングされた２人が互いにミーティングを行うことに合意することが必要となる．分析対象とする期間内で同一の個人が複数のミーティングを行う可能性を妨げない．また，過去にミーティングを行った相手と再びミーティングを形成することも妨げない．個人の探索行動において，過去にミーティングを形成したことのある相手とそうでない相手は区別されない．また，個人はミーティングに関する記憶を有さず，過去のミーティングの履歴はミーティング形成に影響を及ぼさないと仮

表 **3.1**　無情報下の純粋戦略

ρ_i^k	内容	(s_i^k, θ_i^k)
ρ_i^1	（探索，受諾）	$(1,1)$
ρ_i^2	（探索，拒否）	$(1,0)$
ρ_i^3	（無策，受諾）	$(0,1)$
ρ_i^4	（無策，拒否）	$(0,0)$

定する．なお，商取引過程をはじめとする多くのコミュニケーション過程では，相手との固定的な関係が形成されることが多い．現実のミーティング過程の複雑性を考慮すれば，本章では極めて限定されたミーティング過程に焦点を置いていることは否めない．しかし，このような簡単なモデルを用いても，本章が対象とするミーティング過程における調整の失敗や情報の利用可能性がミーティング均衡に及ぼす影響を分析することが可能である．

3.3.2　個人の異質性とミーティング均衡

個人はミーティング相手のタイプにより異なったミーティング効用を持つ．同一のミーティングに対する効用はタイプ間で同一である必要はない．個人のミーティングに対する選好の異質性やそれぞれのタイプの個人数は，ミーティング過程における集団均衡の形成に影響を与える．また，ミーティング相手のタイプに関する情報の利用可能性は，個人のミーティング行動に大きな影響を及ぼすだろう．本章では，ミーティング相手のタイプに関する情報の利用可能性に関して２つの場合を想定する．すなわち，１）タイプに関する情報が利用可能でない場合，２）タイプに関する完全情報が利用可能な場合をとりあげる．前者の場合，事前にミーティング相手のタイプが識別できず，相手とミーティングを行った事後において相手のタイプが判明する．したがって，個人のミーティング過程に関する効用は異なるタイプの相手とのミーティングに対する期待効用として表現される．タイプに関する情報が利用可能でない場合は，異なるタイプのミーティング相手に対して同一の探索努力や合意形成行動を採用せざるを得ないという合同均衡（pooling equilibrium）が成立する．一方，相手のタイプに関する完全情報が利用できる場合には，ミーティング相手を探索する段階で探索すべき相手を識別できる．また，ミーティングの申し込みに対しても，相手のタイプに応じてミーティングを行うべきか否かを決定することができる．また，学習行動を通じて，それぞれのタイプの人間がミーティングを合意するか否かに関する知識も獲得できるため，相手のタイプに応じた探索行動もとることができる．すなわち，完全情報が利用可能な場合，相手のタイプに応じて探索・合意戦略を差別化した分離均衡（separating equilibrium）が達成される．

3.3.3　個人のミーティング戦略

各個人は，日々異なった相手とミーティングを繰り返す．その際，個人は「ミーティング相手を探索するか否か」,「他人からのミーティングの申し込みを受諾するか否か」を決定する必要がある．個人はミー

ティング相手のタイプに関する情報を持たない場合を考える．したがって，社会を構成するすべての個人を対象にミーティング相手を探索することとなる．ミーティングを申し込まれた場合，申し込んできた相手のタイプも事前には判らない．相手のタイプが判明しない段階で，申し込みを受諾するか否かを決定しなければならない．これら意思決定パターンの組み合わせにより，タイプ i の個人に対して純粋戦略 ρ_i^k $(i=1,2;k=1,\cdots,4)$ を定義することができる．ここで，タイプ i の純粋戦略ρ_i^kにおける個人の探索行動の有無，受諾行動の有無を表すダミー(確率)変数 s_i^k,θ_i^kを導入する．すなわち，$s_i^k=1$ の場合,「ミーティング相手を探索する」ことを，$s_i^k=0$ の場合は「ミーティング相手を探索しない（無策)」ことを表す．同様に，$\theta_i^k=1$ の時,「ミーティングの申し込みを受諾する」ことを，$\theta_i^k=0$ は「ミーティングの申し込みを拒否する」ことを表す．この時，各純粋戦略ρ_i^kは**表 3.1** に示すように 4 種類存在し，ダミー変数の組 (s_i^k,θ_i^k) によって記述できる．また，各純粋戦略の組み合わせによって $0\leq s_i^k\leq 1, 0\leq\theta_i^k\leq 1$ となるような任意の混合戦略ρ_i^kが定義できる．以下では，説明の簡単化のため各個人の戦略として純粋戦略ρ_i^jのみを用て説明する．

3.3.4 生起するミーティング数の期待値

各タイプの個人が形成するミーティング数の期待値は，それぞれのタイプの個人が採用する戦略に依存する．いま，タイプ 1，タイプ 2 のすべての個人が同一の純粋戦略ρ_1^k,ρ_2^lをそれぞれ採用したと考えよう．この時，各タイプの個人が対象期間中に形成するミーティング数の期待値は，これら純粋戦略を用いて表現できる．いま，ある個人がミーティング相手を探索する場合 $(s_i^k=1)$，タイプに関わらず平均α (>0) 人のミーティングの交渉相手を発見すると考える．相手と出会ってもミーティングが常に実現するとは限らない．相手がミーティングに同意することが必要となる．いま，この個人がタイプ j $(j=1,2)$ の個人と出会ったとしよう．タイプ jの相手がミーティングの申し出を受け入れる場合 $(\theta_j^k=1)$，タイプ i の個人とタイプ jの個人の２人の間でミーティングが形成される．一方，$\theta_j^k=0$ の場合，ミーティングは形成されない．いま，ランダムマッチングを仮定すると，タイプ 1 の個人が発見した相手のタイプが 1 および 2 である確率は，それぞれ$\beta_{11}=(N_1-1)/(N-1),\beta_{12}=N_2/(N-1)$ と表される．同様にしてタイプ 2 の個人が発見した相手がそれぞれのタイプである確率は，$\beta_{21}=N_1/(N-1),\beta_{22}=(N_2-1)/(N-1)$ と表せる．Nが十分大きい場合，$\beta_{11}\cong N_1/N,\beta_{21}\cong N_1/N,\beta_{12}\cong N_2/N,\beta_{22}\cong N_2/N$と近似できる．ここで，$N_1/N=\beta_1,N_2/N=\beta_2$と表そう．個人が相手をそれぞれ独立に探索すると考えれば，タイプ i $(i=1,2)$ の個人を発見する期待回数は$\alpha\beta_i$となる．この時，各タイプのすべての個人が，それぞれ同一の純粋戦略 ρ_1^k,ρ_2^lを採用した場合，タイプ i の個人が自らミーティング相手を探索し，タイプ j $(j=1,2)$ の個人と行うミーティング数の期待値$\overline{a}_i^j$は，それぞれ

$$\left.\begin{array}{ll}\overline{a}_1^1=\alpha\beta_1 s_1^k\hat{\theta}_1^k & \overline{a}_1^2=\alpha\beta_2 s_1^k\hat{\theta}_2^l \\ \overline{a}_2^1=\alpha\beta_1 s_2^l\hat{\theta}_1^k & \overline{a}_2^2=\alpha\beta_2 s_2^l\hat{\theta}_2^l\end{array}\right\} \tag{3.1}$$

と表せる．ここに，記号 ^ は他人が決定する意思決定変数であることを表す．すなわち，自らの意思決定である探索努力を表すダミー変数 s_i^kと，他の主体の意思決定である受諾の有無を表すダミー変数θ_i^kが共に

1となる場合のみミーティングが形成され，その場合一人あたり$\alpha\beta_i$のミーティングを行うことになる．一方，ある1人の他人の探索により発見された1人の相手が自分である確率が$1/(N-1)$であることに着目しよう．個々人の平均探索人数がαであり，N_i人のタイプiの個人がそれぞれ独立にミーティング相手を探索すると考えれば，ある個人がタイプiの個人から申し込みを受ける期待回数は$\alpha N_i/(N-1)$となる．Nが十分に大きく，$N_i/(N-1) \cong \beta_i$が近似的に成立するとしよう．この時，各タイプのすべての個人が同一の純粋戦略ρ_1^k, ρ_2^lを採用している場合，タイプiの1個人がタイプjの個人から申し込みを受けて実現するミーティング数の期待値$\underline{a}_i^j \quad (i,j=1,2)$は，

$$\left.\begin{array}{ll} \underline{a}_1^1 = \alpha\beta_1 \hat{s}_1^k \theta_1^k & \underline{a}_1^2 = \alpha\beta_2 \hat{s}_2^l \theta_1^k \\ \underline{a}_2^1 = \alpha\beta_1 \hat{s}_1^k \theta_2^l & \underline{a}_2^2 = \alpha\beta_2 \hat{s}_2^l \theta_2^l \end{array}\right\} \tag{3.2}$$

と表すことができる．ここで，$\hat{s}_i^k$は他人が決定する変数であり，当該の個人は制御できない．自らが意思決定を行う受諾の有無を表すダミー変数s_i^kと，他の主体が意思決定を行う探索努力を表すダミー変数θ_i^kが共に1となる場合のみミーティングが形成され，その場合一人あたり$\alpha\beta_i$のミーティングを行う．いま，各タイプの個人がそれぞれすべて同一の純粋戦略ρ_1^k, ρ_2^lを採用した場合に，タイプiの1個人がタイプjの個人と行って実現するミーティング数の期待値を$n_i^j(\rho_1^k, \rho_2^l)$と表そう．ミーティング相手とのマッチングの機会は，自ら相手を発見した場合と相手から申し込まれた場合の双方により構成されることを考慮すれば実現するミーティング数の期待値を以下のように定義することができる．

$$\left.\begin{array}{l} n_1^1(\rho_1^k, \rho_2^l) = \alpha\beta_1(s_1^k \hat{\theta}_1^k + \hat{s}_1^k \theta_1^k) \\ n_1^2(\rho_1^k, \rho_2^l) = \alpha\beta_2(s_1^k \hat{\theta}_2^l + \hat{s}_2^l \theta_1^k) \\ n_2^1(\rho_1^k, \rho_2^l) = \alpha\beta_1(s_2^l \hat{\theta}_1^k + \hat{s}_1^k \theta_2^l) \\ n_2^2(\rho_1^k, \rho_2^l) = \alpha\beta_2(s_2^l \hat{\theta}_2^l + \hat{s}_2^l \theta_2^l) \end{array}\right\} \tag{3.3}$$

3.3.5　純粋戦略のペイオフの定式化

タイプ$1,2$のすべての個人がそれぞれ純粋戦略ρ_1^k, ρ_2^lを採用する時に，各タイプの個人が獲得可能なペイオフをモデル化する．いま，タイプi $(i=1,2)$の個人がタイプj $(j=1,2)$の個人とミーティングを行った場合に得られる1回当たりの効用水準を$\bar{V}_i^j$と表す．さらに，一般性を損なうことなく，ミーティングを行わない時の効用水準を$\bar{V}_i^0 = 0$に規格化しよう．また，探索費用を1，受諾費用をεと考える．この時，各タイプのすべての個人がそれぞれ同一の純粋戦略ρ_1^k, ρ_2^lを採用した時，タイプiの個人が獲得するペイオフ$v_i(\rho_1^k, \rho_2^l)$を

$$v_1(\rho_1^k, \rho_2^l) = -(s_1^k + \varepsilon\theta_1^k) + \beta_1(s_1^k \hat{\theta}_1^k + \hat{s}_1^k \theta_1^k)\bar{v}_1^1 + \beta_2(s_1^k \hat{\theta}_2^l + \hat{s}_2^l \theta_1^k)\bar{v}_1^2 \tag{3.4a}$$

$$v_2(\rho_1^k, \rho_2^l) = -(s_2^l + \varepsilon\theta_2^l) + \beta_1(s_2^l \hat{\theta}_1^k + \hat{s}_1^k \theta_2^l)\bar{v}_2^1 + \beta_2(s_2^l \hat{\theta}_2^l + \hat{s}_2^l \theta_2^l)\bar{v}_2^2 \tag{3.4b}$$

と表す．ここに，$\bar{v}_i^j = \bar{V}_i^j/\alpha$はマッチング費用（1人のミーティング交渉相手と出会うための費用）単位で測定したミーティング効用である．式(3.4a),(3.4b)の右辺第1項はミーティング相手の探索費用を表す．また，第2，3項は，それぞれタイプ1，タイプ2の相手とのミーティングに対する期待利得を示す．さらに，各タイプの個人がすべて同一の純粋戦略ρ_1^k, ρ_2^lを採用している場合に，タイプ1のある個人が1人だけ

それとは逸脱した純粋戦略$\rho_1^{k'}$をとる場合を考える．この場合，式 (3.4a) より彼が獲得するペイオフは

$$v_1(\rho_1^{k'};\rho_1^k,\rho_2^l) = -(s_1^{k'}+\varepsilon\theta_1^{k'}) + \beta_1(s_1^{k'}\hat{\theta}_1^k + \hat{s}_1^k\theta_1^{k'})\bar{v}_1^1 + \beta_2(s_1^{k'}\hat{\theta}_2^l + \hat{s}_2^l\theta_1^{k'})\bar{v}_1^2 \tag{3.5}$$

と表現することができる．同様にタイプ 2 のある個人が 1 人だけ純粋戦略$\rho_2^{l'}$を採用する場合に得られるペイオフは次式のように表現できる．

$$v_2(\rho_2^{l'};\rho_1^k,\rho_2^l) = -(s_2^{l'}+\varepsilon\theta_2^{l'}) + \beta_1(s_2^{l'}\hat{\theta}_1^k + \hat{s}_1^k\theta_2^{l'})\bar{v}_2^1 + \beta_2(s_2^{l'}\hat{\theta}_2^l + \hat{s}_2^l\theta_2^{l'})\bar{v}_2^2 \tag{3.6}$$

3.3.6 ミーティング均衡

いま，社会において各純粋戦略を採用する人間が多様に分布している場合を考えよう．タイプ i $(i=1,2)$ の個人の内，純粋戦略ρ_i^kを採用する個人がタイプ i の個人全体に占める割合を$\sigma_i(\rho_i^k)$と表そう．当然のことながら，$\sum_{k=1}^4 \sigma_i(\rho_i^k) = 1$が成立する．ここで，各純粋戦略を採用する個人の割合を表すベクトル$\boldsymbol{\sigma}_i = \{\sigma_i(\rho_i^1),\cdots,\sigma_i(\rho_i^4)\}$を定義する．この時，タイプ 1, 2 のある 1 人の個人がそれぞれ純粋戦略$\rho_1^{k'},\rho_2^{l'}$を採用した時に得られる期待ペイオフを

$$\begin{aligned} v_1(\rho_1^{k'};\boldsymbol{\sigma}_1,\boldsymbol{\sigma}_2) &= \sum_{k=1}^4\sum_{l=1}^4 \sigma_1(\rho_1^k)\sigma_2(\rho_2^l)v_1(\rho_1^{k'};\rho_1^k,\rho_2^l) \\ v_2(\rho_2^{l'};\boldsymbol{\sigma}_1,\boldsymbol{\sigma}_2) &= \sum_{k=1}^4\sum_{l=1}^4 \sigma_1(\rho_1^k)\sigma_2(\rho_2^l)v_2(\rho_1^{l'};\rho_1^k,\rho_2^l) \end{aligned}$$

と表そう．さらに，着目しているタイプ i の個人が混合戦略$\boldsymbol{\sigma}'_i = \{\sigma'_i(\rho_1^i),\cdots,\sigma'_i(\rho_4^i)\}$を採用した場合，当該の個人が獲得できるペイオフは

$$v_1(\boldsymbol{\sigma}'_1;\boldsymbol{\sigma}_1,\boldsymbol{\sigma}_2) = \sum_{k=1}^4 \sigma'_1(\rho_1^k)v_1(\rho_1^k;\boldsymbol{\sigma}_1,\boldsymbol{\sigma}_2) \tag{3.7a}$$

$$v_2(\boldsymbol{\sigma}'_2;\boldsymbol{\sigma}_1,\boldsymbol{\sigma}_2) = \sum_{l=1}^4 \sigma'_2(\rho_2^l)v_2(\rho_2^l;\boldsymbol{\sigma}_1,\boldsymbol{\sigma}_2) \tag{3.7b}$$

と表すことができる．個人がミーティング相手のタイプに関する情報を持たない場合，個々人はミーティング相手のタイプ如何に関わらず，同一の探索戦略，受諾戦略を適用せざるを得ない．したがって，ミーティング相手に関わらず同一の均衡戦略を採用する合同均衡が成立する．このような合同均衡は，すべての個人が非協力的に最適なミーティング戦略を採用するようなナッシュ均衡解として求められる．いま，個人の数 N が十分に多く，同じ混合戦略を採用する個人が結果的に採用する純粋戦略を集計化して求めた集団的分布が混合戦略の確率分布と一致すると考えよう．この時，集団均衡として生じるナッシュ均衡は，任意の混合戦略$\boldsymbol{\sigma}_1,\boldsymbol{\sigma}_2$に対して

$$\left.\begin{aligned} v_1(\boldsymbol{\sigma}_1^*;\boldsymbol{\sigma}_1^*,\boldsymbol{\sigma}_2^*) \geq v_1(\boldsymbol{\sigma}_1;\boldsymbol{\sigma}_1^*,\boldsymbol{\sigma}_2^*) \\ v_2(\boldsymbol{\sigma}_2^*;\boldsymbol{\sigma}_1^*,\boldsymbol{\sigma}_2^*) \geq v_2(\boldsymbol{\sigma}_2;\boldsymbol{\sigma}_1^*,\boldsymbol{\sigma}_2^*) \end{aligned}\right\} \tag{3.8}$$

を同時に満足するような$\boldsymbol{\sigma}_1^*,\boldsymbol{\sigma}_2^*$として定義できる．

多くの個人が互いに相手をランダムに換えながらミーティングを繰り返すようなランダム・マッチングゲームでは，個人が採用する戦略が自然淘汰され，結果的にある集団的な均衡に収束する．このような自然淘汰による戦略の安定性を検討するために，以上で求めた均衡戦略が進化的に安定的であるかどうかを分析しよう．ここでは，異なるタイプの個人群が別々の純粋戦略の集合を有しており，タイプごとに侵略的戦略を定義することが可能である．この場合，均衡戦略の進化論的安定性の考え方として種々の概念を考えることができるが，ここではナッシュ均衡解戦略が，ある特定のタイプの個人の侵略的戦略に対して進化論的に安定的か否かを逐一的に検討する方法を採用する．いま，個人のペイオフが自己の戦略$\boldsymbol{\sigma}_1, \boldsymbol{\sigma}_2$に関して線形式であることを配慮すれば，ナッシュ均衡解$\boldsymbol{\sigma}_1^*, \boldsymbol{\sigma}_2^*$に対して，

$$v_1(\boldsymbol{\sigma}_1^*; \boldsymbol{\sigma}_1^*, \boldsymbol{\sigma}_2^*) = v_1(\boldsymbol{\sigma}_1; \boldsymbol{\sigma}_1^*, \boldsymbol{\sigma}_2^*) \tag{3.9}$$

が成立するタイプ1の個人の任意の戦略$\boldsymbol{\sigma}_1$に対して，

$$v_1(\boldsymbol{\sigma}_1^*; \boldsymbol{\sigma}_1, \boldsymbol{\sigma}_2^*) > v_1(\boldsymbol{\sigma}_1; \boldsymbol{\sigma}_1, \boldsymbol{\sigma}_2^*) \tag{3.10}$$

が成立する場合，均衡解$\boldsymbol{\sigma}_1^*, \boldsymbol{\sigma}_2^*$はタイプ1の任意の侵略者に対して進化論的に安定的であることが保証される[12)]．同様に，タイプ2の任意の侵略者に関する進化的安定性も定義できる．このような2種類のタイプの任意の侵略的戦略に対して，ナッシュ均衡解が逐一的に安定であるとき，均衡解$\boldsymbol{\sigma}_1^*, \boldsymbol{\sigma}_2^*$は進化論的に逐一的安定 (evolutionarily piece-wise stable: 以下E.P.W.安定と呼ぶ) であると定義する．E.P.W.安定の概念は複数のタイプによる侵略者の同時生起の問題は考慮していない．複数のタイプのプレイヤーが存在する場合の均衡解の進化論的安定性の概念として，複数タイプのプレイヤーの侵略的戦略を同時に考慮するようなより強い安定性の概念を開発することができる．

3.3.7 合同均衡

個人のタイプごとのミーティングに対する選好が異なれば，異なったパターンの合同均衡が得られる．前提条件より，両タイプの個人のシェアが一定であり，かつ$\beta_1 \geq \beta_2$が成立する．両タイプのミーティング効用のプロフィル$(\bar{v}_1^1, \bar{v}_1^2), (\bar{v}_2^1, \bar{v}_2^2)$を変化させ，それにより合同均衡解のパターンがどのように変化するかを分析する．式(3.5),(3.6)を変形すれば，他人の純粋戦略$\hat{\rho}_1^k, \hat{\rho}_2^l$を与件とした時の各タイプの個人のペイオフを

$$v_1(\rho_i^{k'}; \hat{\rho}_1^k, \hat{\rho}_2^l) = \Phi_1(\hat{\theta}_1^k, \hat{\theta}_2^l) s_1^{k'} + \Psi_1(\hat{s}_1^k, \hat{s}_2^l) \theta_1^{k'}$$
$$v_2(\rho_i^{l'}; \hat{\rho}_1^k, \hat{\rho}_2^l) = \Phi_2(\hat{\theta}_1^k, \hat{\theta}_2^l) s_2^{l'} + \Psi_2(\hat{s}_1^k, \hat{s}_2^l) \theta_2^{l'}$$

と表すことができる．ただし，

$$\begin{aligned}
\Phi_1(\hat{\theta}_1^k, \hat{\theta}_2^l) &= -1 + \beta_1 \hat{\theta}_1^k \bar{v}_1^1 + \beta_2 \hat{\theta}_2^l \bar{v}_1^2 \\
\Phi_2(\hat{\theta}_1^k, \hat{\theta}_2^l) &= -1 + \beta_1 \hat{\theta}_1^k \bar{v}_2^1 + \beta_2 \hat{\theta}_2^l \bar{v}_2^2 \\
\Psi_1(\hat{s}_1^k, \hat{s}_2^l) &= -\varepsilon + \beta_1 \hat{s}_1^k \bar{v}_1^1 + \beta_2 \hat{s}_2^l \bar{v}_1^2 \\
\Psi_2(\hat{s}_1^k, \hat{s}_2^l) &= -\varepsilon + \beta_1 \hat{s}_1^k \bar{v}_2^1 + \beta_2 \hat{s}_2^l \bar{v}_2^2
\end{aligned}$$

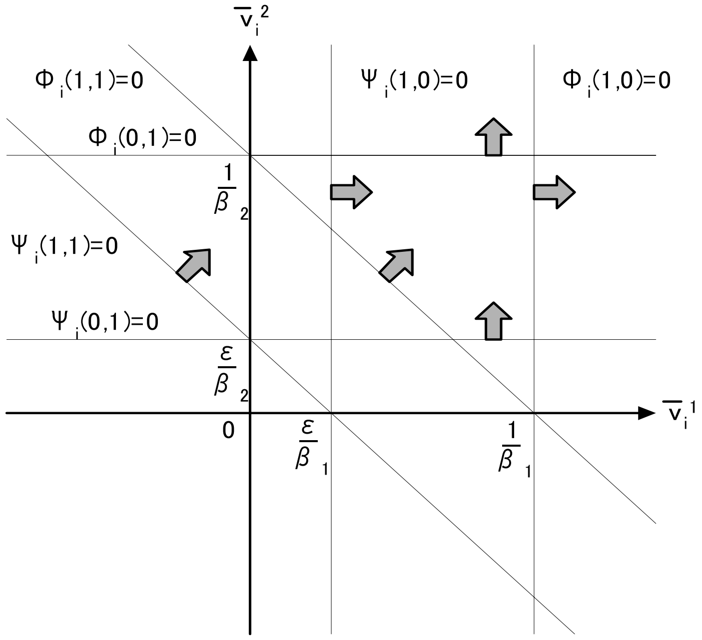


図 3.1　合同均衡における効用プロフィルの領域分割

と表される．このことに着目し，式 (3.8) を満足するようなナッシュ均衡解を求める．ミーティング効用$\bar{v}_i^j$の水準によって異なったパターンのナッシュ均衡解が求められる．**図 3.1** はタイプ i のミーティング効用のプロフィルの分割領域を示している．図中の実線は$\Phi_i = 0(\Psi_i = 0)$ が成立する効用プロフィルの組み合わせを示している．また，矢印は$\Phi_i \geq 0(\Psi_i \geq 0)$ が成立する半空間を示している．なお，**図 3.1** は$\beta_1 = \beta_2 = 0.5$の場合を想定している．β_1, β_2の値を変化させても，各領域の境界がシフトするだけで，領域分割の基本的なパターンは変化しない．それぞれの効用プロフィル空間は，いくつかの排他的な領域に分割され，タイプ 1，タイプ 2 のそれぞれの領域の組み合わせと対応して**表 3.2** に示すような異なったナッシュ均衡解が求まる．

表 3.2 より，ミーティング効用$\bar{v}_i^k$の組み合わせにより 25 通りの均衡パターンが存在することが理解できる．パターン A から J までは，いずれも純粋戦略による均衡解，パターン K から Y までは混合戦略による均衡解となっている．同表において，s_i, θ_iはそれぞれ $s_i = \sum_k \sigma_i(\rho_i^k) s_i^k, \theta_i = \sum_k \sigma_i(\rho_i^k) \theta_i^k$であり，それぞれ探索確率，受諾確率を意味している．本ケースでは 4 通りの純粋戦略が存在するため，同一の探索確率，受諾確率 (s_i, θ_i) を表現するような独立な純粋戦略の組み合わせが複数個存在し，混合戦略は一意的に決まらない．したがって，**表 3.2** では，混合戦略を直接表記せずに，探索確率，受諾確率 (s_i, θ_i) のみを表している．

パターン A, K, L, M, N, Y はいずれのタイプの個人も相手を探索し，かつ申し込みを受諾することとなる．パターン B, C, U, V, W, X ではいずれのタイプも申し込みを受諾するが，相手の探索は一方のタイプのみが行う．すなわち，一方のタイプが他方のタイプの探索行動に free ride する結果となっている．パター

表 3.2 (1)　合同均衡解とその成立条件

	タイプ1の戦略：(s_1, θ_1)	タイプ2の戦略：(s_2, θ_2)	成 立 す る 条 件
A^*	(1,1)	(1,1)	$\Phi_1(1,1) > 0, \Phi_2(1,1) > 0, \Psi_1(1,1) > 0, \Psi_2(1,1) > 0$
B^*	(1,1)	(0,1)	$\Phi_1(1,1) > 0, \Phi_2(1,1) < 0, \Psi_1(1,0) > 0, \Psi_2(1,0) > 0$
C^*	(0,1)	(1,1)	$\Phi_1(1,1) < 0, \Phi_2(1,1) > 0, \Psi_1(0,1) > 0, \Psi_2(0,1) > 0$
D^*	(1,1)	(1,0)	$\Phi_1(1,0) > 0, \Phi_2(1,0) > 0, \Psi_1(1,1) > 0, \Psi_2(1,1) < 0$
E^*	(1,0)	(1,1)	$\Phi_1(0,1) > 0, \Phi_2(0,1) > 0, \Psi_1(1,1) < 0, \Psi_2(1,1) > 0$
F^*	(1,1)	(0,0)	$\Phi_1(1,0) > 0, \Phi_2(1,0) < 0, \Psi_1(1,0) > 0, \Psi_2(1,0) < 0$
G^*	(0,0)	(1,1)	$\Phi_1(0,1) < 0, \Phi_2(0,1) > 0, \Psi_1(0,1) < 0, \Psi_2(0,1) > 0$
H^*	(1,0)	(0,1)	$\Phi_1(0,1) > 0, \Phi_2(0,1) < 0, \Psi_1(1,0) < 0, \Psi_2(1,0) > 0$
I^*	(0,1)	(1,0)	$\Phi_1(1,0) < 0, \Phi_2(1,0) > 0, \Psi_1(0,1) > 0, \Psi_2(0,1) < 0$
J^*	(0,0)	(0,0)	
K	(1,1)	$\left(\frac{\varepsilon-\beta_1\bar{v}_2^1}{\beta_2\bar{v}_2^2}, \frac{1-\beta_1\bar{v}_2^1}{\beta_2\bar{v}_2^2}\right)$	$\Phi_1\left(1, \frac{1-\beta_1\bar{v}_2^1}{\beta_2\bar{v}_2^2}\right) > 0, \Phi_2\left(1, \frac{1-\beta_1\bar{v}_2^1}{\beta_2\bar{v}_2^2}\right) = 0$ $\Psi_1\left(1, \frac{\varepsilon-\beta_1\bar{v}_2^1}{\beta_2\bar{v}_2^2}\right) > 0, \Psi_2\left(1, \frac{\varepsilon-\beta_1\bar{v}_2^1}{\beta_2\bar{v}_2^2}\right) = 0$
L	$\left(\frac{\varepsilon-\beta_2\bar{v}_1^2}{\beta_1\bar{v}_1^1}, \frac{1-\beta_2\bar{v}_1^2}{\beta_1\bar{v}_1^1}\right)$	$(1,1)$	$\Phi_1\left(\frac{1-\beta_2\bar{v}_1^2}{\beta_1\bar{v}_1^1}, 1\right) = 0, \Phi_2\left(\frac{1-\beta_2\bar{v}_1^2}{\beta_1\bar{v}_1^1}, 1\right) > 0,$ $\Psi_1\left(\frac{\varepsilon-\beta_2\bar{v}_1^2}{\beta_1\bar{v}_1^1}, 1\right) = 0, \Psi_2\left(\frac{\varepsilon-\beta_2\bar{v}_1^2}{\beta_1\bar{v}_1^1}, 1\right) > 0$
M^*	$\left(1, \frac{1-\beta_2\bar{v}_2^2}{\beta_1\bar{v}_2^1}\right)$	$\left(\frac{\varepsilon-\beta_1\bar{v}_1^1}{\beta_2\bar{v}_1^2}, 1\right)$	$\Phi_1\left(\frac{1-\beta_2\bar{v}_2^2}{\beta_1\bar{v}_2^1}, 1\right) > 0, \Phi_2\left(\frac{1-\beta_2\bar{v}_2^2}{\beta_1\bar{v}_2^1}, 1\right) = 0$ $\Psi_1\left(1, \frac{\varepsilon-\beta_1\bar{v}_1^1}{\beta_2\bar{v}_1^2}\right) = 0, \Psi_2\left(1, \frac{\varepsilon-\beta_1\bar{v}_1^1}{\beta_2\bar{v}_1^2}\right) > 0,$
N^*	$\left(\frac{\varepsilon-\beta_2\bar{v}_2^2}{\beta_1\bar{v}_2^1}, 1\right)$	$\left(1, \frac{1-\beta_1\bar{v}_1^1}{\beta_2\bar{v}_1^2}\right)$	$\Phi_1\left(1, \frac{1-\beta_1\bar{v}_1^1}{\beta_2\bar{v}_1^2}\right) = 0, \Phi_2\left(1, \frac{1-\beta_1\bar{v}_1^1}{\beta_2\bar{v}_1^2}\right) > 0,$ $\Psi_1\left(\frac{\varepsilon-\beta_2\bar{v}_2^2}{\beta_1\bar{v}_2^1}, 1\right) > 0, \Psi_2\left(\frac{\varepsilon-\beta_2\bar{v}_2^2}{\beta_1\bar{v}_2^1}, 1\right) = 0$
O	$\left(1, \frac{1}{\beta_1\bar{v}_2^1}\right)$	$\left(\frac{\varepsilon-\beta_1\bar{v}_1^1}{\beta_2\bar{v}_1^2}, 0\right)$	$\Phi_1\left(\frac{1}{\beta_1\bar{v}_2^1}, 0\right) > 0, \Phi_2\left(\frac{1}{\beta_1\bar{v}_2^1}, 0\right) = 0$ $\Psi_1\left(1, \frac{\varepsilon-\beta_1\bar{v}_1^1}{\beta_2\bar{v}_1^2}\right) = 0, \Psi_2\left(1, \frac{\varepsilon-\beta_1\bar{v}_1^1}{\beta_2\bar{v}_1^2}\right) < 0$
P	$\left(\frac{\varepsilon-\beta_2\bar{v}_2^2}{\beta_1\bar{v}_2^1}, 0\right)$	$\left(1, \frac{1}{\beta_2\bar{v}_1^2}\right)$	$\Phi_1\left(0, \frac{1}{\beta_2\bar{v}_1^2}\right) = 0, \Phi_2\left(0, \frac{1}{\beta_2\bar{v}_1^2}\right) > 0,$ $\Psi_1\left(\frac{\varepsilon-\beta_2\bar{v}_2^2}{\beta_1\bar{v}_2^1}, 1\right) < 0, \Psi_2\left(\frac{\varepsilon-\beta_2\bar{v}_2^2}{\beta_1\bar{v}_2^1}, 1\right) = 0$

ン D, E, O, P, Q, R では，双方のタイプともミーティング相手を探索するが，一方のタイプのみミーティングを断る結果となっている．このとき，パターン D, E においては，一方のタイプが常にミーティングの申し出を断るので，ミーティングの申し込みを相手が受け入れるか，断るかによって相手のタイプが識別できる．パターン F, G は一方のタイプのみが同一タイプの個人の間でミーティングを行うこととなる．パターン H, I, S, T では異なったタイプの間でのみミーティングが成立する．パターン J は，すべてのタイプの個人が探索を行わずまた受諾しないので，誰ともミーティングを行わないという合同均衡を示すが，これは効用プロフィルのすべての組み合わせに対して存在することがわかる．パターン $D, E, F, G, H, I, O, P, Q, R, S, T$ においては，一方のタイプが常にミーティングの申し込みを断り続けるという状態が生じている．

図 3.1 に示すタイプ 1 および 2 の効用プロフィルの領域の組み合わせのそれぞれに対して，**表 3.2** に示すナッシュ均衡解（1 個もしくは複数個）が存在するが，これらのすべてが E.P.W. 安定であるわけではない．パターン K, O, Q, U, X のナッシュ均衡解の下では，タイプ 2 の利得 v_2 はゼロである．つまり，これらのそれぞれのケースにおいて，タイプ 2 の個人は探索あるいは受諾努力を行ってはいるものの，それによる利得がそのために要する費用で相殺されている．このとき，これらのナッシュ均衡解におけるタイプ 2 の均衡解戦略はタイプ 2 による $(s_2, \theta_2) = (0, 0)$ という侵略的戦略をブロックできない．なぜならば，この侵

表 3.2 (2)　合同均衡解とその成立条件

	タイプ1の戦略：(s_1, θ_1)	タイプ2の戦略：(s_2, θ_2)	成 立 す る 条 件
Q	(1,0)	$\left(\frac{\varepsilon-\beta_1\bar{v}_2^1}{\beta_2\bar{v}_2^2}, \frac{1}{\beta_2\bar{v}_2^2}\right)$	$\Phi_1\left(0, \frac{1}{\beta_2\bar{v}_2^2}\right) > 0, \Phi_2\left(0, \frac{1}{\beta_2\bar{v}_2^2}\right) = 0$ $\Psi_1\left(1, \frac{\varepsilon-\beta_1\bar{v}_2^1}{\beta_2\bar{v}_2^2}\right) < 0, \Psi_2\left(1, \frac{\varepsilon-\beta_1\bar{v}_2^1}{\beta_2\bar{v}_2^2}\right) = 0$
R	$\left(\frac{\varepsilon-\beta_2\bar{v}_1^2}{\beta_1\bar{v}_1^1}, \frac{1}{\beta_1\bar{v}_1^1}\right)$	$(1, 0)$	$\Phi_1\left(\frac{1}{\beta_1\bar{v}_1^1}, 0\right) = 0, \Phi_2\left(\frac{1}{\beta_1\bar{v}_1^1}, 0\right) > 0,$ $\Psi_1\left(\frac{\varepsilon-\beta_2\bar{v}_1^2}{\beta_1\bar{v}_1^1}, 1\right) = 0, \Psi_2\left(\frac{\varepsilon-\beta_2\bar{v}_1^2}{\beta_1\bar{v}_1^1}, 1\right) < 0$
S	$\left(0, \frac{1}{\beta_1\bar{v}_2^1}\right)$	$\left(\frac{\varepsilon}{\beta_2\bar{v}_1^2}, 0\right)$	$\Phi_1\left(\frac{1}{\beta_1\bar{v}_2^1}, 0\right) < 0, \Phi_2\left(\frac{1}{\beta_1\bar{v}_2^1}, 0\right) = 0,$ $\Psi_1\left(0, \frac{\varepsilon}{\beta_2\bar{v}_1^2}\right) = 0, \Psi_2\left(0, \frac{\varepsilon}{\beta_2\bar{v}_1^2}\right) < 0$
T	$\left(\frac{\varepsilon}{\beta_1\bar{v}_2^1}, 0\right)$	$\left(0, \frac{1}{\beta_2\bar{v}_1^2}\right)$	$\Phi_1\left(0, \frac{1}{\beta_2\bar{v}_1^2}\right) = 0, \Phi_2\left(0, \frac{1}{\beta_2\bar{v}_1^2}\right) < 0,$ $\Psi_1\left(\frac{\varepsilon}{\beta_1\bar{v}_2^1}, 0\right) < 0, \Psi_2\left(0, \frac{\varepsilon}{\beta_1\bar{v}_2^1}\right) = 0$
U	$(0, 1)$	$\left(\frac{\varepsilon}{\beta_2\bar{v}_2^2}, \frac{1-\beta_1\bar{v}_2^1}{\beta_2\bar{v}_2^2}\right)$	$\Phi_1\left(1, \frac{1-\beta_1\bar{v}_2^1}{\beta_2\bar{v}_2^2}\right) < 0, \Phi_2\left(1, \frac{1-\beta_1\bar{v}_2^1}{\beta_2\bar{v}_2^2}\right) = 0,$ $\Psi_1\left(0, \frac{\varepsilon}{\beta_2\bar{v}_2^2}\right) > 0, \Psi_2\left(0, \frac{\varepsilon}{\beta_2\bar{v}_2^2}\right) = 0$
V	$\left(\frac{\varepsilon}{\beta_1\bar{v}_1^1}, \frac{1-\beta_2\bar{v}_1^2}{\beta_1\bar{v}_1^1}\right)$	$(0, 1)$	$\Phi_1\left(\frac{1-\beta_2\bar{v}_1^2}{\beta_1\bar{v}_1^1}, 1\right) = 0, \Phi_2\left(\frac{1-\beta_2\bar{v}_1^2}{\beta_1\bar{v}_1^1}, 1\right) < 0,$ $\Psi_1\left(\frac{\varepsilon}{\beta_1\bar{v}_1^1}, 0\right) = 0, \Psi_2\left(\frac{\varepsilon}{\beta_1\bar{v}_1^1}, 0\right) > 0$
W	$\left(0, \frac{1-\beta_2\bar{v}_2^2}{\beta_1\bar{v}_2^1}\right)$	$\left(\frac{\varepsilon}{\beta_2\bar{v}_2^2}, 1\right)$	$\Phi_1\left(\frac{1-\beta_2\bar{v}_2^2}{\beta_1\bar{v}_2^1}, 1\right) < 0, \Phi_2\left(\frac{1-\beta_2\bar{v}_2^2}{\beta_1\bar{v}_2^1}, 1\right) = 0,$ $\Psi_1\left(0, \frac{\varepsilon}{\beta_2\bar{v}_1^2}\right) = 0, \Psi_2\left(0, \frac{\varepsilon}{\beta_2\bar{v}_1^2}\right) > 0$
X	$\left(\frac{\varepsilon}{\beta_1\bar{v}_2^1}, 1\right)$	$\left(0, \frac{1-\beta_1\bar{v}_1^1}{\beta_2\bar{v}_1^2}\right)$	$\Phi_1\left(1, \frac{1-\beta_1\bar{v}_1^1}{\beta_2\bar{v}_1^2}\right) = 0, \Phi_2\left(1, \frac{1-\beta_1\bar{v}_1^1}{\beta_2\bar{v}_1^2}\right) < 0,$ $\Psi_1\left(\frac{\varepsilon}{\beta_1\bar{v}_2^1}, 0\right) > 0, \Psi_2\left(\frac{\varepsilon}{\beta_1\bar{v}_2^1}, 0\right) = 0$
Y	$\left(\frac{(\bar{v}_2^2-\bar{v}_1^2)\varepsilon}{\beta_1(\bar{v}_1^1\bar{v}_2^2-\bar{v}_1^2\bar{v}_2^1)}, \frac{\bar{v}_2^2-\bar{v}_1^2}{\beta_1(\bar{v}_1^1\bar{v}_2^2-\bar{v}_1^2\bar{v}_2^1)}\right)$	$\left(\frac{(\bar{v}_2^1-\bar{v}_1^1)\varepsilon}{\beta_2(\bar{v}_1^2\bar{v}_2^1-\bar{v}_1^1\bar{v}_2^2)}, \frac{\bar{v}_2^1-\bar{v}_1^1}{\beta_2(\bar{v}_1^2\bar{v}_2^1-\bar{v}_1^1\bar{v}_2^2)}\right)$	$\Phi_1\left(\frac{\bar{v}_2^2-\bar{v}_1^2}{\beta_1(\bar{v}_1^1\bar{v}_2^2-\bar{v}_1^2\bar{v}_2^1)}, \frac{\bar{v}_2^1-\bar{v}_1^1}{\beta_2(\bar{v}_1^2\bar{v}_2^1-\bar{v}_1^1\bar{v}_2^2)}\right) = 0,$ $\Phi_2\left(\frac{\bar{v}_2^2-\bar{v}_1^2}{\beta_1(\bar{v}_1^1\bar{v}_2^2-\bar{v}_1^2\bar{v}_2^1)}, \frac{\bar{v}_2^1-\bar{v}_1^1}{\beta_2(\bar{v}_1^2\bar{v}_2^1-\bar{v}_1^1\bar{v}_2^2)}\right) = 0,$ $\Psi_1\left(\frac{(\bar{v}_2^2-\bar{v}_1^2)\varepsilon}{\beta_1(\bar{v}_1^1\bar{v}_2^2-\bar{v}_1^2\bar{v}_2^1)}, \frac{(\bar{v}_2^1-\bar{v}_1^1)\varepsilon}{\beta_2(\bar{v}_1^2\bar{v}_2^1-\bar{v}_1^1\bar{v}_2^2)}\right) = 0,$ $\Psi_2\left(\frac{(\bar{v}_2^2-\bar{v}_1^2)\varepsilon}{\beta_1(\bar{v}_1^1\bar{v}_2^2-\bar{v}_1^2\bar{v}_2^1)}, \frac{(\bar{v}_2^1-\bar{v}_1^1)\varepsilon}{\beta_2(\bar{v}_1^2\bar{v}_2^1-\bar{v}_1^1\bar{v}_2^2)}\right) = 0$

略者のゲームへの混入により，これらのパターンにおいてタイプ２の個人の期待ペイオフは必ずゼロ以下に減少するからである．同様に，パターンL, P, R, V, Wにおいては，タイプ１が探索・受諾努力とそのための費用の相殺によりゼロ利得を得ているが，タイプ１の$(s_1, \theta_1) = (0, 0)$を用いる侵略者の進入をブロックできない．また，パターンS, T, Yにおいては，タイプ１および２の個人どちらも探索・受諾利得とそのための費用が相殺してゼロ利潤を得ており，タイプ１および２のどちらにおける$(s_i, \theta_i) = (0, 0)$戦略をもつ侵略者もブロックできない．したがって，**表 3.2** においてパターン番号の右上に∗印を付記したパターン$A \sim J$の純粋戦略均衡解およびパターンM, Nのナッシュ均衡解がE.P.W.安定な戦略の均衡解となる．以上では，相手のタイプが判らないという無情報の下でのミーティング均衡について考察した．次節では相手のタイプに関する完全情報が利用可能になった場合，ミーティング均衡がどのように変化するかについて考察してみよう．

表 3.3　完全情報下の純粋戦略

η_i^k	内容	$(u_i^k, w_i^k, \phi_i^k, \psi_i^k)$
η_i^1	(探索，探索，受諾，受諾)	$(1,1,1,1)$
η_i^2	(探索，探索，受諾，拒否)	$(1,1,1,0)$
η_i^3	(探索，探索，拒否，受諾)	$(1,1,0,1)$
η_i^4	(探索，探索，拒否，拒否)	$(1,1,0,0)$
η_i^5	(探索，無策，受諾，受諾)	$(1,0,1,1)$
η_i^6	(探索，無策，受諾，拒否)	$(1,0,1,0)$
η_i^7	(探索，無策，拒否，受諾)	$(1,0,0,1)$
η_i^8	(探索，無策，拒否，拒否)	$(1,0,0,0)$
η_i^9	(無策，探索，受諾，受諾)	$(0,1,1,1)$
η_i^{10}	(無策，探索，受諾，拒否)	$(0,1,1,0)$
η_i^{11}	(無策，探索，拒否，受諾)	$(0,1,0,1)$
η_i^{12}	(無策，探索，拒否，拒否)	$(0,1,0,0)$
η_i^{13}	(無策，無策，受諾，受諾)	$(0,0,1,1)$
η_i^{14}	(無策，無策，受諾，拒否)	$(0,0,1,0)$
η_i^{15}	(無策，無策，拒否，受諾)	$(0,0,0,1)$
η_i^{16}	(無策，無策，拒否，拒否)	$(0,0,0,0)$

3.4　完全情報下でのミーティング均衡

3.4.1　完全情報下でのミーティング戦略

完全情報下では，ミーティング相手のタイプを事前に知ることができる．したがって，ミーティング相手を探索する場合，相手のタイプを絞って探索することができる．また，ミーティングの申し込みがあった場合にも，申し込んだ相手のタイプを事前に知ることができるので，相手のタイプによってミーティングを行うか否かを差別化することができる．そこで,「タイプ1の相手を探索するか」,「タイプ2の相手を探索するか」,「タイプ1の相手からの申し込みを受諾するか」,「タイプ2の相手からの申し込みを受諾するか」という4つの意思決定パターンの組み合わせにより，**表 3.3** に示すような16種類の純粋戦略η_i^kを定義することができる．いま，タイプiの個人の探索行動の有無，受諾行動の有無を表すダミー変数$(u_i^k, w_i^k), (\phi_i^k, \psi_i^k)$を導入する．すなわち，$u_i^k = 1$の場合,「タイプ1のミーティング相手を探索する」ことを，$u_i^k = 0$の場合は「タイプ1のミーティング相手を探索しない」ことを表す．同様に，w_i^kは，タイプ2のミーティング相手を探索するか否かを表すダミー変数である．一方，ϕ_i^kは「タイプ1の相手からの申し込みを受諾するか否か」を表すダミー変数，ψ_i^kは「タイプ2の相手からの申し込みを受諾するか否か」を表すダミー変数である．この時，純粋戦略η_i^kは**表 3.3** に示すようにダミー変数の組$(u_i^k, w_i^k, \phi_i^k, \psi_i^k)$によって特徴づけることができる．なお，本ケースの場合，各個人はミーティング相手のタイプを事前に完全に判別できることを想定している．例えば，個々人が自動的に相手のタイプを識別できるような受信装置を保持しており，選別された相手の申し込みだけが受信者に届けられるような状況を想定している．現実には，現在のところ

受信者が相手のタイプを完全に識別することは技術的に困難である．ここでは完全情報が利用可能であるという理想的な状況を想定し，完全情報の利用可能性がミーティング均衡に及ぼす影響を分析することとする．

3.4.2 生起するミーティング数の期待値

各個人がミーティング相手のタイプに関する完全情報を有している場合，各個人はそれぞれの探索強度を探索するタイプごとに振り分けることができる．いま，各タイプのすべての個人がそれぞれ同一の純粋戦略η_1^k, η_2^l を採用している場合を考えよう．完全情報の場合，常に事前に相手のタイプが判明しているため，タイプ1を探索する場合，必ずタイプ1の個人と出会うことになる．いま，タイプiの個人がある期間にタイプjの個人と行う平均ミーティング回数を以下のように表そう．

$$\left.\begin{array}{ll} \overline{a}_1^1 = \alpha u_1^k \hat{\phi}_1^k & \overline{a}_1^2 = \alpha w_1^k \hat{\phi}_2^l \\ \overline{a}_2^1 = \alpha u_2^l \hat{\psi}_1^k & \overline{a}_2^2 = \alpha w_2^l \hat{\psi}_2^l \end{array}\right\} \tag{3.11}$$

ただし，αは探索行動の結果，実現する平均マッチング回数である．同様に，相手側からの申し込みにより行う平均ミーティング回数は次式で表される．

$$\left.\begin{array}{ll} \underline{a}_1^1 = \alpha \hat{u}_1^k \phi_1^k & \underline{a}_1^2 = \alpha \hat{u}_2^l \psi_1^k \\ \underline{a}_2^1 = \alpha \hat{w}_1^k \phi_2^l & \underline{a}_2^2 = \alpha \hat{w}_2^l \psi_2^l \end{array}\right\} \tag{3.12}$$

タイプiの個人がタイプjの個人と行うミーティング数の期待値n_i^j，$(i,j=1,2)$は次式で表せる．

$$\left.\begin{array}{l} n_1^1 = \alpha(u_1^k \hat{\phi}_1^k + \hat{u}_1^k \phi_1^k) \\ n_1^2 = \alpha(v_1^k \hat{\phi}_2^l + \hat{u}_2^l \psi_1^k) \\ n_2^1 = \alpha(u_2^l \hat{\psi}_1^k + \hat{w}_1^k \phi_2^l) \\ n_2^2 = \alpha(v_2^l \hat{\psi}_2^l + \hat{w}_2^l \psi_2^l) \end{array}\right\} \tag{3.13}$$

3.4.3 純粋戦略のペイオフの定式化

各タイプのすべての個人がそれぞれ純粋戦略η_1^k, η_2^lを採用する時に，各タイプの個人が獲得可能なペイオフをモデル化する．無情報の場合と同様に，タイプi $(i=1,2)$の個人がタイプ$j(j=1,2)$の個人とミーティングを行った場合に得られる効用水準を$\bar{V}_i^j$と表す．さらに，一般性を損なうことなく，ミーティングを行わない時の効用水準を$\bar{V}_i^0=0$に規格化しよう．また，探索費用を1，受諾費用をεと考える．タイプごとに異なる名簿が用意されており，それぞれのタイプの名簿を利用する費用が探索費用として課徴されると考える．申し込み相手のタイプを選別するための受信システムがそれぞれのタイプごとに用意されており，そのレンタル費用が受諾費用として課徴される．この時，タイプ1，2のすべての個人が同一の純粋戦略η_1^k, η_2^lを採用した時，タイプiの個人が獲得するペイオフ$v_i(\eta_1^k, \eta_2^l)$を

$$v_1(\eta_1^k, \eta_2^l) = -\{(u_1^k + w_1^k) + \varepsilon(\phi_1^k + \psi_1^k)\} + (u_1^k \hat{\phi}_1^k + \hat{u}_1^k \phi_1^k)\bar{v}_1^1 + (w_1^k \hat{\phi}_2^l + \hat{u}_2^l \psi_1^k)\bar{v}_1^2 \tag{3.14a}$$

$$v_2(\eta_1^k, \eta_2^l) = -\{(u_2^l + w_2^l) + \varepsilon(\phi_2^l + \psi_2^l)\} + (u_2^l \hat{\psi}_1^k + \hat{w}_1^k \phi_2^l)\bar{v}_2^1 + (w_2^l \hat{\psi}_2^l + \hat{w}_2^l \psi_2^l)\bar{v}_2^2 \tag{3.14b}$$

と表す．ここに，$\bar{v}_i^j = \bar{V}_i^j/\alpha$はマッチング費用単位で測定したミーティング効用である．式(3.14a),(3.14b)の右辺第１項はミーティング相手の探索費用を，第２，３項は，それぞれタイプ1，タイプ２の相手との

ミーティングに対する期待効用を示す．各タイプの個人がすべて同一の純粋戦略η_1^k, η_2^lを採用している場合に，タイプ1のある1人の個人がそれとは逸脱した純粋戦略$\eta_1^{k'}$をとる場合を考える．式(3.14a)より彼が獲得するペイオフは

$$v_1(\eta_1^{k'};\eta_1^k,\eta_2^l) = -\{(u_1^{k'}+w_1^{k'})+\varepsilon(\phi_1^{k'}+\psi_1^{k'})\}+(u_1^{k'}\hat{\phi}_1^k+\hat{u}_k^1\phi_1^{k'})\bar{v}_1^1+(w_1^{k'}\hat{\phi}_2^l+\hat{u}_2^l\psi_1^{k'})\bar{v}_1^2 \quad (3.15)$$

と表現することができる．同様にタイプ2の個人が1人だけ純粋戦略$\eta_2^{l'}$を採用する場合に得られるペイオフは次式のように表現できる．

$$v_2(\eta_2^{l'};\eta_1^k,\eta_2^l) = -\{(u_2^{l'}+w_2^{l'})+\varepsilon(\phi_2^{l'}+\psi_2^{l'})\}+(u_2^{l'}\hat{\psi}_1^k+\hat{w}_1^k\phi_2^{l'})\bar{v}_2^1+(w_2^{l'}\hat{\psi}_2^l+\hat{w}_2^l\psi_2^{l'})\bar{v}_2^2 \quad (3.16)$$

3.4.4 ミーティング均衡

社会において各純粋戦略を採用する人間が多様に分布している場合を考えよう．タイプi $(i=1,2)$の個人の内，純粋戦略η_i^kを採用する個人がタイプiの個人全体に占める割合を$\xi_i(\eta_i^k)$と表そう．当然のことながら，$\sum_{k=1}^{16}\xi_i(\eta_i^k)=1$が成立する．ここで，各純粋戦略を採用する個人の割合を表すベクトル$\boldsymbol{\xi}_i = \{\xi_i(\eta_i^1),\cdots,\xi_i(\eta_i^{16})\}$を定義する．この時，タイプ1,2のある1人の個人がそれぞれ純粋戦略$\eta_1^{k'},\eta_2^{l'}$を採用した時に得られる期待ペイオフを

$$v_1(\eta_1^{k'};\boldsymbol{\xi}_1,\boldsymbol{\xi}_2) = \sum_{k=1}^{16}\sum_{l=1}^{16}\xi_1(\eta_1^k)\xi_2(\eta_2^l)v_1(\eta_1^{k'};\eta_1^k,\eta_2^l)$$
$$v_2(\eta_2^{l'};\boldsymbol{\xi}_1,\boldsymbol{\xi}_2) = \sum_{k=1}^{16}\sum_{l=1}^{16}\xi_1(\eta_1^k)\xi_2(\eta_2^l)v_2(\eta_1^{l'};\eta_1^k,\eta_2^l)$$

と表そう．さらに，着目しているタイプiの個人が混合戦略$\boldsymbol{\xi}_i' = \{\xi_i'(\eta_i^1),\cdots,\xi_i'(\eta_i^{16})\}$を採用した場合，当該の個人が獲得できるペイオフは

$$v_1(\boldsymbol{\xi}_1';\boldsymbol{\xi}_1,\boldsymbol{\xi}_2) = \sum_{k=1}^{16}\xi_1'(\eta_1^k)v_1(\eta_1^k;\boldsymbol{\xi}_1,\boldsymbol{\xi}_2) \quad (3.18a)$$
$$v_2(\boldsymbol{\xi}_2';\boldsymbol{\xi}_1,\boldsymbol{\xi}_2) = \sum_{l=1}^{16}\xi_2'(\eta_2^l)v_2(\eta_2^l;\boldsymbol{\xi}_1,\boldsymbol{\xi}_2) \quad (3.18b)$$

と表すことができる．この時，すべての個人が非協力的に最適なミーティング戦略を採用するようなナッシュ均衡解は，任意の混合戦略$\boldsymbol{\xi}_1,\boldsymbol{\xi}_2$に対して

$$\left.\begin{array}{l} v_1(\boldsymbol{\xi}_1^*;\boldsymbol{\xi}_1^*,\boldsymbol{\xi}_2^*) \geq v_1(\boldsymbol{\xi}_1;\boldsymbol{\xi}_1^*,\boldsymbol{\xi}_2^*) \\ v_2(\boldsymbol{\xi}_2^*;\boldsymbol{\xi}_1^*,\boldsymbol{\xi}_2^*) \geq v_2(\boldsymbol{\xi}_2;\boldsymbol{\xi}_1^*,\boldsymbol{\xi}_2^*) \end{array}\right\} \quad (3.19)$$

を同時に満足するような$\boldsymbol{\xi}_1^*,\boldsymbol{\xi}_2^*$として求めることができる．つぎに，分離均衡のE.P.W.安定性を定義する．いま，ナッシュ均衡解$\boldsymbol{\xi}_1^*,\boldsymbol{\xi}_2^*$に対して，

$$v_1(\boldsymbol{\xi}_i^*;\boldsymbol{\xi}_1^*,\boldsymbol{\xi}_2^*) = v_1(\boldsymbol{\xi}_1;\boldsymbol{\xi}_1^*,\boldsymbol{\xi}_2^*) \quad (3.20)$$

が成立するタイプ1の個人の任意の戦略$\boldsymbol{\xi}_1$に対して，

$$v_i(\boldsymbol{\xi}_1^*;\boldsymbol{\xi}_1,\boldsymbol{\xi}_2^*) > v_1(\boldsymbol{\xi}_1;\boldsymbol{\xi}_1,\boldsymbol{\xi}_2^*) \quad (3.21)$$

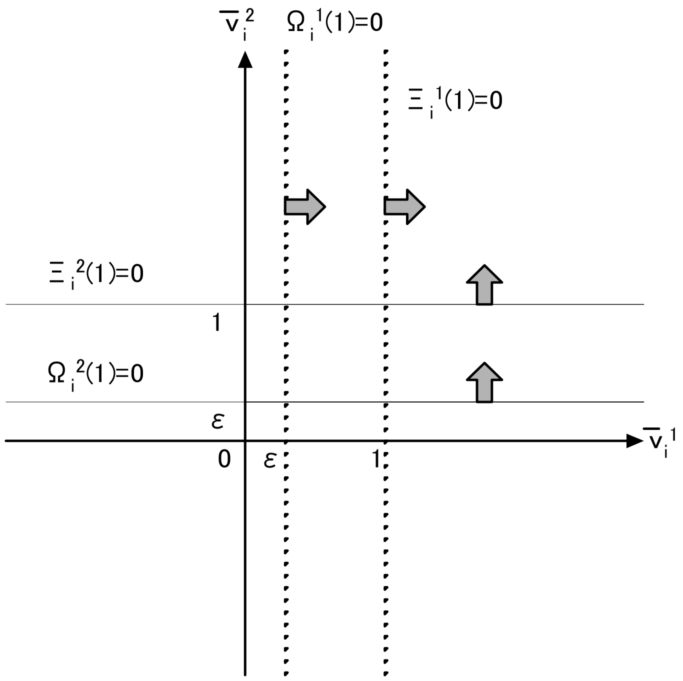


図 3.2　分離均衡における効用プロファイルの領域分割

が成立する場合，均衡解$\boldsymbol{\xi}_1^*, \boldsymbol{\xi}_2^*$はタイプ 1 の任意の侵略者に対して進化論的に安定的である．タイプ 1，および タイプ 2 の任意の侵略的戦略に対して，ナッシュ均衡解が逐一的に安定であるとき，分離均衡解$\boldsymbol{\xi}_1^*, \boldsymbol{\xi}_2^*$はE.P.W. 安定である．

3.4.5　分離均衡

個人が潜在的なミーティング相手のタイプに関する完全情報を有する場合，個々人はミーティング相手のタイプごとに探索戦略，受諾戦略を差別化することが可能となる．したがって，ミーティング相手に応じて戦略を差別化された分離均衡が達成される．タイプ間でのミーティングに対する効用の異質性により異なったパターンの分離均衡が成立する．以下では，選好の異質性を表すパラメータと分離均衡のパターンの間の関係について分析することとする．式 (3.15),(3.16) を変形すれば，他人の純粋戦略$\hat{\eta}_1^k, \hat{\eta}_2^l$の下での各タイプの個人のペイオフを

$$v_1(\eta_i^{k'}; \hat{\eta}_1^k, \hat{\eta}_2^l) = \Xi_1^1(\hat{\phi}_1^k)u_1^k + \Xi_1^2(\hat{\phi}_2^l)w_1^{k'} + \Omega_1^1(\hat{u}_1^k)\phi_1^k + \Omega_1^2(\hat{w}_2^l)\psi_1^{k'} \tag{3.22a}$$

$$v_2(\eta_2^{l'}; \hat{\eta}_1^k, \hat{\eta}_2^l) = \Xi_2^1(\hat{\psi}_2^l)u_2^l + \Xi_2^2(\hat{\psi}_2^l)w_2^{l'} + \Omega_2^1(\hat{w}_1^k)\phi_2^l + \Omega_2^2(\hat{w}_2^l)\psi_2^{l'} \tag{3.22b}$$

表 3.4　分離均衡解とその成立条件

	タイプ 1 の個人の戦略 $(u_1, w_1, \phi_1, \psi_1)$	タイプ 2 の個人の戦略 $(u_2, w_2, \phi_2, \psi_2)$	成 立 す る 条 件
A^*	$(1,1,1,1)$	$(1,1,1,1)$	$\Xi_1^1(1) > 0, \Xi_1^2(1) > 0, \Xi_2^1(1) > 0, \Xi_2^2(1) > 0,$ $\Omega_1^1(1) > 0, \Omega_1^2(1) > 0, \Omega_2^1(1) > 0, \Omega_2^2(1) > 0$
B^*	$(1,1,1,1)$	$(1,0,1,0)$	$\Xi_1^1(1) > 0, \Xi_1^2(1) > 0, \Xi_2^1(1) > 0, \Xi_2^2(0) \leq 0,$ $\Omega_1^1(1) > 0, \Omega_1^2(1) > 0, \Omega_2^1(1) > 0, \Omega_2^2(0) \leq 0$
C^*	$(1,1,1,0)$	$(0,1,1,1)$	$\Xi_1^1(1) > 0, \Xi_1^2(1) > 0, \Xi_2^1(0) \leq 0, \Xi_2^2(1) > 0,$ $\Omega_1^1(1) > 0, \Omega_1^2(0) \leq 0, \Omega_2^1(1) > 0, \Omega_2^2(1) > 0$
D^*	$(1,0,1,1)$	$(1,1,0,1)$	$\Xi_1^1(1) > 0, \Xi_1^2(0) \leq 0, \Xi_2^1(1) > 0, \Xi_2^2(1) > 0,$ $\Omega_1^1(1) > 0, \Omega_1^2(1) > 0, \Omega_2^1(0) \leq 0, \Omega_2^2(1) > 0$
E^*	$(0,1,0,1)$	$(1,1,1,1)$	$\Xi_1^1(0) \leq 0, \Xi_1^2(1) > 0, \Xi_2^1(1) > 0, \Xi_2^2(1) > 0,$ $\Omega_1^1(0) \leq 0, \Omega_1^2(1) > 0, \Omega_2^1(1) > 0, \Omega_2^2(1) > 0$
F^*	$(1,1,1,0)$	$(0,0,1,0)$	$\Xi_1^1(1) > 0, \Xi_1^2(1) > 0, \Xi_2^1(0) \leq 0, \Xi_2^2(0) \leq 0,$ $\Omega_1^1(1) > 0, \Omega_1^2(0) \leq 0, \Omega_2^1(1) > 0, \Omega_2^2(0) \leq 0$
G^*	$(1,0,1,1)$	$(1,0,0,0)$	$\Xi_1^1(1) > 0, \Xi_1^2(0) \leq 0, \Xi_2^1(1) > 0, \Xi_2^2(0) \leq 0,$ $\Omega_1^1(1) > 0, \Omega_1^2(1) > 0, \Omega_2^1(0) \leq 0, \Omega_2^2(0) \leq 0$
H^*	$(1,0,1,0)$	$(0,1,0,1)$	$\Xi_1^1(1) > 0, \Xi_1^2(0) \leq 0, \Xi_2^1(0) \leq 0, \Xi_2^2(1) > 0,$ $\Omega_1^1(1) > 0, \Omega_1^2(0) \leq 0, \Omega_2^1(0) \leq 0, \Omega_2^2(1) > 0$
I^*	$(0,1,0,1)$	$(1,0,1,0)$	$\Xi_1^1(0) \leq 0, \Xi_1^2(1) > 0, \Xi_2^1(1) > 0, \Xi_2^2(0) \leq 0,$ $\Omega_1^1(0) \leq 0, \Omega_1^2(1) > 0, \Omega_2^1(1) > 0, \Omega_2^2(0) \leq 0$
J^*	$(0,1,0,0)$	$(0,1,1,1)$	$\Xi_1^1(0) \leq 0, \Xi_1^2(1) > 0, \Xi_2^1(0) \leq 0, \Xi_2^2(1) > 0,$ $\Omega_1^1(0) \leq 0, \Omega_1^2(0) \leq 0, \Omega_2^1(1) > 0, \Omega_2^2(1) > 0$
K^*	$(0,0,0,1)$	$(1,1,0,1)$	$\Xi_1^1(0) \leq 0, \Xi_1^2(0) \leq 0, \Xi_2^1(1) > 0, \Xi_2^2(1) > 0,$ $\Omega_1^1(0) \leq 0, \Omega_1^2(1) > 0, \Omega_2^1(0) \leq 0, \Omega_2^2(1) > 0$
L^*	$(1,0,1,0)$	$(0,0,0,0)$	$\Xi_1^1(1) > 0, \Xi_1^2(0) \leq 0, \Xi_2^1(0) \leq 0, \Xi_2^2(0) \leq 0,$ $\Omega_1^1(1) > 0, \Omega_1^2(0) \leq 0, \Omega_2^1(0) \leq 0, \Omega_2^2(0) \leq 0$
M^*	$(0,1,0,0)$	$(0,0,1,0)$	$\Xi_1^1(0) \leq 0, \Xi_1^2(1) > 0, \Xi_2^1(0) \leq 0, \Xi_2^2(0) \leq 0,$ $\Omega_1^1(0) \leq 0, \Omega_1^2(0) \leq 0, \Omega_2^1(1) > 0, \Omega_2^2(0) \leq 0$
N^*	$(0,0,0,1)$	$(1,0,0,0)$	$\Xi_1^1(0) \leq 0, \Xi_1^2(0) \leq 0, \Xi_2^1(1) > 0, \Xi_2^2(0) \leq 0,$ $\Omega_1^1(0) \leq 0, \Omega_1^2(1) > 0, \Omega_2^1(0) \leq 0, \Omega_2^2(0) \leq 0$
O^*	$(0,0,0,0)$	$(0,1,0,1)$	$\Xi_1^1(0) \leq 0, \Xi_1^2(0) \leq 0, \Xi_2^1(0) \leq 0, \Xi_2^2(1) > 0,$ $\Omega_1^1(0) \leq 0, \Omega_1^2(0) \leq 0, \Omega_2^1(0) \leq 0, \Omega_2^2(1) > 0$
P^*	$(0,0,0,0)$	$(0,0,0,0)$	$\Xi_1^1(0) \leq 0, \Xi_1^2(0) \leq 0, \Xi_2^1(0) \leq 0, \Xi_2^2(0) \leq 0,$ $\Omega_1^1(0) \leq 0, \Omega_1^2(0) \leq 0, \Omega_2^1(0) \leq 0, \Omega_2^2(0) \leq 0$

と表現することができる．ただし，

$$
\begin{aligned}
\Xi_1^1(\hat{\phi}_1^k) &= -1 + \hat{\phi}_1^k \bar{v}_1^1 & \Omega_1^1(\hat{u}_1^k) &= -\varepsilon + \hat{u}_1^k \bar{v}_1^1 \\
\Xi_1^2(\hat{\phi}_2^l) &= -1 + \hat{\phi}_2^l \bar{v}_1^2 & \Omega_1^2(\hat{u}_2^l) &= -\varepsilon + \hat{u}_2^l \bar{v}_1^2 \\
\Xi_2^1(\hat{\psi}_1^k) &= -1 + \hat{\psi}_1^k \bar{v}_2^1 & \Omega_2^1(\hat{w}_1^k) &= -\varepsilon + \hat{w}_1^k \bar{v}_2^1 \\
\Xi_2^2(\hat{\psi}_2^l) &= -1 + \hat{\psi}_2^l \bar{v}_2^2 & \Omega_2^2(\hat{w}_2^l) &= -\varepsilon + \hat{w}_2^l \bar{v}_2^2
\end{aligned}
$$

である．このことに着目し，式 (3.19) を満足するようなナッシュ均衡解（分離均衡）を求める．ミーティング効用 $\bar{v}_i^j$ の水準によって異なったタイプのナッシュ均衡解が求められる．

図 3.2 にはタイプ 1，タイプ 2 の効用プロフィル空間の領域分割を示している．この図の点線は $\Xi_i^k = 0(\Omega_i^k = 0)$ が成立するような効用プロフィルの組み合わせを示している．また矢印は $\Xi_i^k \geq 0(\Omega_i^k \geq 0)$ が成立する半空間を示している．これらそれぞれの領域の組み合わせに対して，**表 3.4** に示すようなナッシュ均衡解が存在する．同表において u_i, w_i, ϕ_i, ψ_i はそれぞれ $u_i = \sum_k \xi_i(\eta_i^k) u_i^k, w_i = \sum_k \xi_i(\eta_i^k) w_i^k, \phi_i = \sum_k \xi_i(\eta_i^k) \phi_i^k, \psi_i = \sum_k \xi_i(\eta_i^k) \psi_i^k$ であり，タイプ i のタイプ 1 に対する探索確率，タイプ 2 に対する探索確

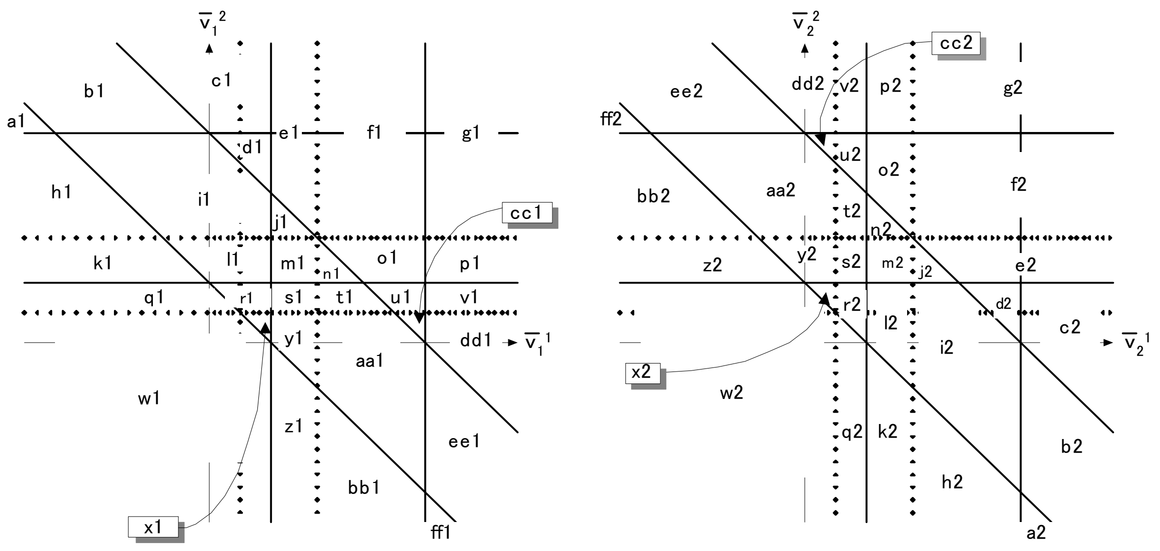


図 3.3　効用プロフィルの領域分割の重ね合わせ

率，およびタイプ1に対する受諾確率，タイプ2に対する受諾確率を示している．得られたナッシュ均衡解はすべて純粋戦略により構成される．これらのナッシュ均衡解は（無コミュニケーション均衡 Pを除き）すべて条件 (3.21) を満足しE.P.W. 安定であることが保証される．本ケースの場合にも，すべての効用プロフィルの組み合わせに対して，いずれのタイプの個人もミーティングを行わないという分離均衡解が存在する（ただし，常にE.P.W. 安定であるとは限らない）．いずれの均衡解においても，相手のタイプに関する情報が利用可能であるため，ミーティングを申し込む相手は必ずミーティングを受諾するという結果となっている．完全情報の場合には，相手のタイプによりミーティングに対する相手の同意が得られるか否かが事前にわかっているために，合意が得られる相手に焦点を絞って探索を行っている．したがって，ミーティングの合意が得られない相手に対して，不必要にミーティングの申し込みを行うといった現象は生じていない．

3.5　ミーティング均衡の性質

3.5.1　ミーティング均衡解の比較

無情報下で成立する合同均衡と完全情報下における分離均衡の成立パターンを比較するために，**図 3.1**, **図 3.2** に示した効用プロフィル空間の領域分割を**図 3.3** に示すように重ね合わせよう．重ね合わせたプロフィルの領域の組み合わせとそれぞれの組み合わせにおいて成立する E.P.W 安定な合同均衡と分離均衡のタイプを整理した結果を**表 3.5** に示す．ここでは，前提条件より$\beta_1 \geq \beta_2$を仮定している．**表 3.5** の第２列は生起しうる合同均衡のパターン（**表 3.2** 参照）を，第３列は分離均衡のパターン（**表 3.4** 参照）を，第４列は第２列に示す合同均衡のパターンと第３列に示す分離均衡のパターンが同時に成立するような両タイプの効用プロフィル領域の組み合わせを示している．ここで留意すべきことは，相手のタイプに関する情

表 **3.5** (1)　合同均衡解と分離均衡解

番号	合同均衡	分離均衡	成立する範囲
1	H ≻ I ≻ J	I ≻ N ≻ M ≻ P	$(a1 \cup b1, a2 \cup b2), (a1 \cup c2)$
2	H ≻ J	I ≻ N ≻ M ≻ P	$(a1 \cup d2), (a1 \cup b1, h2 \cup i2 \cup j2), (c1, h2 \cup j2)$
3	C ≻ H ≻ J	I ≻ N ≻ M ≻ P	$(a1 \cup b1, e2)$
4	C ≻ H ≻ J	E ≻ K ≻ J ≻ O	$(a1, f2)$
5	C ≻ J	E ≻ K ≻ J ≻ O	$(a1 \cup b1 \cup h1 \cup i1 \cup j1, g2), (h1 \cup j1, f2)$
6	H ≻ J	M ≻ P	$(a1 \cup b1, k2 \cup l2 \cup m2), (c1, k2 \cup m2)$
7	H ≻ J	J ≻ O	$(a1 \cup b1 \cup c1, n2)$
8	C ≻ H ≻ J	J ≻ O	$(a1, o2)$
9	C ≻ J	J ≻ O	$(a1 \cup h1, p2 \cup u2 \cup v2), (b1 \cup i1, p2 \cup v2), (h1 \cup j1, o2)$
10	J	M ≻ P	$(a1 \cup b1 \cup c1 \cup d1 \cup e1 \cup h1 \cup i1 \cup j1, q2 \cup s2), (a1 \cup b1 \cup h1 \cup i1 \cup j1, r2)$
11	J	J ≻ O	$(a1 \cup b1 \cup c1 \cup e1, t2), (d1 \cup h1 \cup i1 \cup j1, n2 \cup t2)$
12	J	P	$(a1 \cup b1 \cup c1 \cup d1 \cup e1 \cup h1 \cup i1 \cup j1 \cup k1 \cup l1 \cup m1 \cup q1 \cup r1 \cup s1 \cup w1 \cup x1 \cup y1 \cup z1, y2 \cup w2), (a1 \cup b1 \cup h1 \cup i1 \cup j1 \cup k1 \cup l1 \cup m1 \cup q1 \cup r1 \cup s1 \cup w1 \cup x1 \cup y1 \cup z1, x2 \cup z2), (k1 \cup l1 \cup m1 \cup q1 \cup r1 \cup s1, k2 \cup l2 \cup m2 \cup q2 \cup r2 \cup s2 \cup w2 \cup x2 \cup y2 \cup z2), (a1 \cup b1 \cup e1 \cup h1 \cup i1 \cup j1, w2 \cup x2 \cup y2 \cup z2), (c1 \cup d1, w2 \cup y2)$
13	J	O	$(aa1 \cup bb1, aa2 \cup bb2), (c1 \cup d1 \cup e1, aa2), (k1 \cup l1 \cup m1 \cup r1 \cup x1 \cup y1, n2 \cup t2 \cup aa2 \cup bb2), (q1 \cup s1 \cup w1 \cup y1, n2 \cup o2 \cup t2 \cup u2 \cup aa2 \cup bb2 \cup cc2), (h1 \cup i1 \cup j1, aa2 \cup bb2), (h1 \cup j1 \cup k1 \cup m1, ee2 \cup ff2), (a1, ff2), (e1, ee2)$
14	C ≻ J	O	$(a1 \cup h1 \cup j1, cc2), (a1 \cup b1 \cup h1 \cup i1 \cup j1, dd2), (k1 \cup m1, o2 \cup u2 \cup cc2), (k1 \cup l1 \cup m1, p2 \cup v2 \cup dd2)$
15	E ≻ J	O	$(a1, ee2)$
16	{HIM} ≻ J	I ≻ N ≻ M ≻ P	$(b1, c2)$
17	{HM} ≻ J	I ≻ N ≻ M ≻ P	$(b1, d2)$
18	{CHM} ≻ J	E ≻ K ≻ J ≻ O	$(b1, f2)$
19	{CHM} ≻ J	J ≻ O	$(b1, o2)$
20	{CM} ≻ J	J ≻ O	$(b1, u2)$
21	{CM} ≻ J	O	$(b1, cc2)$
22	M ≻ J	O	$(b1, ee2 \cup ff2), (x1 \cup z1, f2 \cup o2 \cup u2 \cup cc2)$
23	H ≻ I	I ≻ N ≻ M ≻ P	$(c1, a2)$
24	{HIN} ≻ J	I ≻ N ≻ M ≻ P	$(c1, b2)$

第４列は第２列に示す合同均衡のパターンと第３列に示す分離均衡のパターンが同時に成立するような両タイプの効用プロフィル領域の組み合わせを示している．例えば，$(\delta_1 \cup \delta_2, \delta_3 \cup \delta_4 \cup \delta_5)$ はタイプ１の効用プロフィルの領域$\delta_1 \cup \delta_2$とタイプ２の効用プロフィル領域$\delta_3 \cup \delta_4 \cup \delta_5$の組み合わせを意味する．また，合同均衡を表す記号の内容は**表 3.2**，分離均衡を表す記号の内容は**表 3.4** を参照．効用プロフィルの領域を表す記号は**図 3.3** に示すとおりである．

報が利用可能となっても，ミーティング均衡の複数性の問題は解決しないことである．むしろ，成立可能な均衡解の数は増加する可能性がある．

表 3.5 の第２列，第３列は各安定均衡解における各個人のペイオフの総和として定義した社会的厚生の順序関係（大小関係）も併記している．同表に現れる記号 $A \succ B$（$A \succeq B$）は，均衡解 A は B よりも社会的厚生が大きい（小さくなることはない）ことを意味している．また，記号 $\{\cdot\}$ で囲まれた均衡解の間では社会的厚生の大小関係がβ_1, β_2に依存し，当該の効用プロフィルの領域の中で順序関係を一意的に決定できないことを表す．なお，合同均衡と分離均衡は異なる均衡モデルの解であり，両者の間の厚生比較を行うことはできないことを指摘しておく．**表 3.5** より，均衡解に関する以下の性質が読みとれる．

性質 3.1　複数均衡解の中にコミュニケーションが行われない均衡（合同均衡解 J，分離均衡解 P）が含

表 **3.5** (2)　合同均衡解と分離均衡解

番号	合同均衡	分離均衡	成立する範囲
25	$\{$AHIMN$\} \succ$ J	I $\succ$ N $\succ$ M $\succ$ P	$(c1, c2)$
26	$\{$AHMN$\} \succ$ J	I $\succ$ N $\succ$ M $\succ$ P	$(c1, d2)$
27	$\{$AHM$\} \succ$ J	I $\succ$ N $\succ$ M $\succ$ P	$(c1, e2)$
28	$\{$AHM$\} \succ$ J	E $\succ$ K $\succ$ J $\succ$ O	$(c1, f2)$
29	A $\succ$ J	E $\succ$ K $\succ$ J $\succ$ O	$(c1 \cup d1 \cup e1, g2), (e1, f2)$
30	$\{$HN$\} \succ$ J	I $\succ$ N $\succ$ M $\succ$ P	$(c1, i2)$
31	$\{$HN$\} \succ$ J	M $\succ$ P	$(c1, l2)$
32	$\{$AHM$\} \succ$ J	J $\succ$ O	$(c1, o2)$
33	A $\succ$ J	J $\succ$ O	$(c1 \cup d1 \cup e1, p2 \cup v2), (e1, o2 \cup u2 \cup cc2)$
34	N $\succ$ J	M $\succ$ P	$(c1 \cup d1 \cup e1, r2)$
35	$\{$AM$\} \succ$ J	J $\succ$ O	$(c1 \cup d1, u2)$
36	N $\succ$ J	P	$(c1 \cup d1 \cup e1, x2 \cup z2)$
37	N $\succ$ J	O	$(c1 \cup d1 \cup e1, bb2), (e1, ff2)$
38	$\{$AM$\} \succ$ J	O	$(c1 \cup d1, cc2)$
39	A $\succ$ J	O	$(c1 \cup d1 \cup f1, dd2)$
40	N $\succ$ M $\succ$ J	O	$(c1 \cup d1, ff2)$
41	I $\succ$ J	I $\succ$ N $\succ$ M $\succ$ P	$(d1, a2), (h1 \cup i1 \cup j1, a2 \cup b2), (h1 \cup j1, c2)$
42	$\{$IN$\} \succ$ J	I $\succ$ N $\succ$ M $\succ$ P	$(d1, b2)$
43	$\{$AIMN$\} \succ$ J	I $\succ$ N $\succ$ M $\succ$ P	$(d1, c2)$
44	$\{$AMN$\} \succ$ J	I $\succ$ N $\succ$ M $\succ$ P	$(d1, d2)$
45	J	I $\succ$ N $\succ$ M $\succ$ P	$(d1, h2), (h1 \cup i1 \cup j1, h2 \cup i2)$
46	N $\succ$ J	I $\succ$ N $\succ$ M $\succ$ P	$(d1, i2 \cup j2)$
47	$\{$AM$\} \succ$ J	I $\succ$ N $\succ$ M $\succ$ P	$(d1, e2)$
48	$\{$AM$\} \succ$ J	E $\succ$ K $\succ$ J $\succ$ O	$(d1, f2)$
49	B $\succ$ J	I $\succ$ N $\succ$ M $\succ$ P	$(e1, h2 \cup j2)$
50	$\{$BN$\} \succ$ J	I $\succ$ N $\succ$ M $\succ$ P	$(e1, i2)$
51	$\{$AN$\} \succ$ J	I $\succ$ N $\succ$ M $\succ$ P	$(e1, d2)$
52	A $\succ$ J	I $\succ$ N $\succ$ M $\succ$ P	$(e1, e2)$
53	B $\succ$ J	M $\succ$ P	$(e1, k2 \cup m2)$
54	$\{$MN$\} \succ$ J	M $\succ$ P	$(e1, l2)$
55	B $\succ$ J	J $\succ$ O	$(e1, n2)$
56	B $\succ$ J	B $\succ$ G $\succ$ F $\succ$ L	$(f1, h2 \cup j2), (g1, a2 \cup b2 \cup h2 \cup i2 \cup j2)$
57	$\{$BN$\} \succ$ J	B $\succ$ G $\succ$ F $\succ$ L	$(f1, i2)$
58	$\{$AN$\} \succ$ J	B $\succ$ G $\succ$ F $\succ$ L	$(f1, d2)$
59	A $\succ$ J	B $\succ$ G $\succ$ F $\succ$ L	$(f1, e2), (g1, c2 \cup d2 \cup e2)$
60	A $\succ$ J	A $\succ$ C $\succ$ D	$(f1 \cup g1, f2 \cup g2)$

まれる時，この均衡解は他のコミュニケーションが行われる均衡解にパレートの意味で支配される．

このことは，何らかのコミュニケーションが存在するような安定的な均衡解が存在する場合，コミュニケーションが行われることにより社会的厚生は必ずパレート改善されることを意味している．

分離均衡の場合，さらに以下の性質が成立する．

性質 3.2　複数の分離均衡解が存在する場合，ミーティングの申込を受諾する個人数が多い均衡解ほど，社会的厚生は増加する．

表 **3.5** (3)　合同均衡解と分離均衡解

番号	合同均衡	分離均衡	成立する範囲
61	B $\succ$ J	F $\succ$ L	$(f1, k2 \cup m2), (g1, k2 \cup l2 \cup m2)$
62	{BN} $\succ$ J	F $\succ$ L	$(f1, l2)$
63	B $\succ$ J	C $\succeq$ H	$(f1 \cup g1, n2)$
64	A $\succ$ J	C $\succeq$ H	$(f1, o2 \cup p2 \cup u2 \cup v2), (g1, o2 \cup p2 \cup u2)$
65	J	F $\succ$ L	$(f1, q2)$
66	N $\succ$ J	F $\succ$ L	$(f1, r2 \cup s2)$
67	J	C $\succeq$ H	$(f1, t2)$
68	N $\succ$ J	L	$(f1, x2 \cup z2), (o1 \cup u1 \cup cc1, r2 \cup x2 \cup z2)$
69	N $\succ$ J	H	$(f1 \cup o1, bb2 \cup ff2), (u1 \cup cc1, bb2)$
70	F	F $\succ$ L	$(g1, q2 \cup r2 \cup s2)$
71	J	L	$(f1, w2 \cup y2), (n1 \cup t1, k2 \cup l2 \cup m2 \cup q2 \cup r2 \cup s2 \cup w2 \cup x2 \cup y2 \cup z2), (o1 \cup u1, q2 \cup s2 \cup w2 \cup y2), (aa1, bb1, a2 \cup b2 \cup e2 \cup h2 \cup i2 \cup j2 \cup k2 \cup l2 \cup m2 \cup q2 \cup r2 \cup s2 \cup w2 \cup x2 \cup y2 \cup z2), (aa1, c2 \cup d2), (cc1, q2 \cup s2 \cup w2 \cup y2), (ee1, e2 \cup h2 \cup j2 \cup k2 \cup m2), (ff1, a2 \cup h2 \cup j2 \cup k2 \cup m2)$
72	J	H	$(f1, aa2 \cup ee2), (n1, n2 \cup t2 \cup aa2 \cup bb2 \cup ee2 \cup ff2), (o1, t2 \cup aa2 \cup ee2), (t1 \cup aa1, n2 \cup o2 \cup t2 \cup u2 \cup aa2 \cup bb2), (u1 \cup cc1, t2 \cup aa2), (t1, f2), (bb1, n2 \cup t2 \cup aa2 \cup bb2)$
73	A $\succ$ J	H $\succ$ P	$(f1, cc2 \cup dd2), (o1, o2 \cup p2 \cup u2 \cup v2 \cup cc2 \cup dd2), (p1, o2 \cup p2), (u1 \cup v1, o2), (cc1 \cup dd1, f2 \cup o2)$
74	F	C $\succeq$ H	$(g1, t2)$
75	A	C $\succeq$ H	$(g1, v2)$
76	F	L	$(g1, w2 \cup x2 \cup y2 \cup z2), (p1 \cup v1 \cup dd1, q2 \cup r2 \cup s2 \cup w2 \cup x2 \cup y2 \cup z2), (ee1 \cup ff1, q2 \cup s2 \cup w2 \cup y2)$
77	F	H	$(g1, aa2 \cup bb2 \cup ee2 \cup ff2), (p1 \cup v1 \cup dd1, t2 \cup aa2 \cup bb2 \cup ee2 \cup ff2), (ee1, t2 \cup u2 \cup aa2 \cup cc2), (ff1, t2 \cup aa2)$
78	A	H	$(g1, cc2 \cup dd2), (p1 \cup u1 \cup v1 \cup cc1 \cup dd1, p2 \cup u2 \cup v2 \cup cc2 \cup dd2), (cc1 \cup dd1, g2)$
79	C $\succ$ J	I $\succ$ N $\succ$ M $\succ$ P	$(h1 \cup i1 \cup j1, e2)$
80	{IM} $\succ$ J	I $\succ$ N $\succ$ M $\succ$ P	$(i1, c2)$
81	M $\succ$ J	I $\succ$ N $\succ$ M $\succ$ P	$(i1, d2)$
82	{CM} $\succ$ J	E $\succ$ K $\succ$ J $\succ$ O	$(i1, f2)$
83	{CM} $\succ$ J	J $\succ$ O	$(i1, o2 \cup u2)$
84	{CM} $\succ$ J	O	$(i1, cc2), (l1, o2 \cup u2 \cup cc2)$
85	M $\succ$ J	O	$(i1, ee2 \cup ff2), (r1, o2)$
86	I $\succ$ J	N $\succ$ P	$(k1 \cup m1, a2 \cup b2 \cup c2), (l1, a2 \cup b2)$

すなわち，相手のタイプに関する完全情報が利用可能な場合，各効用プロフィル領域において社会的厚生の大きさに基づいて各均衡解の順序関係を一意的に規定することが可能である．さらに，ミーティングの申込みを受諾するか個人の数が多くなるほどミーティング均衡の社会的効率性は増加する．一方，合同均衡の場合には，ミーティング均衡の社会的厚生は各タイプの個人数と効用値と複雑に関係しており，複数均衡解の間の効率性比較に関して一般的な性質を導きだすことは容易ではない．このため，ミーティングを受諾する個人数が多くなることが必ずしもミーティング均衡の効率性を増加させるとは限らない．

このように，異なる均衡解の間では社会的厚生に差異が存在する．ミーティング均衡が複数個存在する場合，いずれの均衡に進化するかは歴史的な履歴に依存する．歴史的な偶然により，社会システムが一度いずれかの安定的な均衡解に進化すれば，別の安定均衡解に移行することは容易でないという lock-in 効果が発生する[17)18)]．このことは社会システムが明らかに効率性の劣る均衡解に到達し，そこから逸脱するこ

表 **3.5** (4)　合同均衡解と分離均衡解

番号	合同均衡	分離均衡	成立する範囲
87	J	N $\succ$ P	$(k1 \cup m1, d2 \cup h2 \cup i2 \cup j2), (l1, h2 \cup i2 \cup j2), (q1 \cup s1, a2 \cup b2 \cup c2 \cup d2 \cup e2 \cup h2 \cup i2 \cup j2), (r1, a2 \cup b2 \cup e2 \cup h2 \cup i2 \cup j2)$
88	C $\succ$ J	N $\succ$ P	$(k1 \cup l1 \cup m1, e2)$
89	G $\succ$ J	K $\succ$ O	$(k1 \cup m1, f2 \cup g2), (l1, g2)$
90	{IM} $\succ$ J	N $\succ$ P	$(l1, c2)$
91	M $\succ$ J	N $\succ$ P	$(l1, d2), (r1, c2 \cup d2)$
92	{CM} $\succ$ J	K $\succ$ O	$(l1, f2)$
93	I $\succ$ J	G $\succ$ L	$(n1, a2 \cup b2 \cup c2)$
94	J	G $\succ$ L	$(n1, d2 \cup h2 \cup i2 \cup j2), (t1, a2 \cup b2 \cup c2 \cup d2 \cup e2 \cup h2 \cup i2 \cup j2)$
95	C $\succ$ J	G $\succ$ L	$(n1, e2)$
96	C $\succ$ J	D $\succeq$ H	$(n1, f2 \cup g2)$
97	C $\succ$ J	H $\succ$ P	$(n1, o2 \cup p2 \cup u2 \cup v2 \cup cc2 \cup dd2)$
98	B $\succ$ J	G $\succ$ L	$(o1 \cup u1, h2 \cup j2 \cup k2), (p1 \cup v1, a2 \cup b2 \cup h2 \cup i2 \cup j2 \cup k2 \cup l2)$
99	{BN} $\succ$ J	G $\succ$ L	$(o1 \cup u1, b2 \cup i2)$
100	{AN} $\succ$ J	G $\succ$ L	$(o1 \cup u1, c2 \cup d2))$
101	A $\succ$ J	G $\succ$ L	$(o1 \cup u1, e2), (p1 \cup v1, c2 \cup d2 \cup e2)$
102	A $\succ$ J	D $\succeq$ H	$(o1 \cup p1 \cup u1 \cup v1, f2 \cup g2)$
103	B $\succ$ J	H $\succ$ P	$(o1 \cup p1 \cup u1 \cup v1 \cup cc1 \cup dd1, n2)$
104	{BN} $\succ$ J	L	$(o1 \cup u1, l2), (cc1, b2 \cup i2 \cup l2)$
105	J	K $\succ$ O	$(q1 \cup s1, f2)$
106	G	K $\succ$ O	$(q1 \cup r1 \cup s1, g2)$
107	G	O	$(q1 \cup s1 \cup w1 \cup y1, p2 \cup v2 \cup dd2 \cup ee2 \cup ff2), (r1 \cup x1 \cup z1, p2 \cup v2 \cup dd2), (w1 \cup x1 \cup y1 \cup z1, g2)$
108	M $\succ$ J	K $\succ$ O	$(r1, f2)$
109	M $\succ$ J	O	$(r1, u2 \cup cc2)$
110	{GM}	O	$(r1 \cup x1, ee2 \cup ff2)$
111	J	D $\succeq$ H	$(t1, f2)$
112	G	D $\succeq$ H	$(t1, g2)$
113	G	H	$(t1, p2 \cup v2 \cup dd2 \cup ee2 \cup ff2), (aa1, g2 \cup p2 \cup v2 \cup dd2 \cup ee2 \cup ff2), (bb1, g2 \cup p2 \cup v2 \cup dd2), (ee1 \cup ff1, g2 \cup p2), (u1, ee2), (cc1, ee2)$
114	{GN}	H	$(u1 \cup cc1, ff2)$
115	{FG}	H	$(v1 \cup dd1, ee2 \cup ff2), (ee1, v2 \cup dd2 \cup ee2), (ff1, v2 \cup dd2)$
116	M $\succ$ J	P	$(x1 \cup z1, c2 \cup d2)$

とが不可能な状態に陥っている可能性があることを示唆している．また，**3.4.5** で考察したように，分離均衡では不必要なミーティング相手の探索やミーティングの受諾を行っていない．ミーティングを行う以上，当事者はミーティングより正の利得を必ず獲得することが保証される．一方，合同均衡ではミーティングの探索・受諾を行う場合，事前の期待効用は正となるがミーティングが開始された事後の効用が必ず正になるとは限らない．しかし，相手のタイプの情報が利用可能となるだけでは，ミーティング過程が非効率的な均衡に到達することを抑止することはできない．すなわち，以下の性質が成立する．

性質 3.3　個人のタイプに関する情報は，個々人によるミーティング相手のミクロな探索行動を効率化できるが，それだけではマクロな自然淘汰の結果生じるミーティング均衡の非効率性の問題を解決することはできない．

表 **3.5** (5)　合同均衡解と分離均衡解

番号	合同均衡	分離均衡	成立する範囲
117	M ≻ J	L	$(bb1, c2 \cup d2)$
118	M ≻ J	H	$(bb1, f2 \cup o2 \cup u2 \cup cc2), (ff1, f2 \cup o2)$
119	{GM}	H	$(bb1, ee2 \cup ff2)$
120	B ≻ J	L	$(o1 \cup p1 \cup u1 \cup v1, m2), (cc1, a2 \cup h2 \cup j2 \cup k2 \cup m2), (dd1, a2 \cup b2 \cup h2 \cup i2 \cup j2 \cup k2 \cup l2 \cup m2)$
121	{AN} ≻ J	L	$(cc1, c2 \cup d2)$
122	A ≻ J	L	$(cc1, e2)$,$(dd1, c2, d2, e2)$
123	D ≻ J	L	$(ee1, a2)$
124	N ≻ J	L	$(ee1, b2 \cup c2 \cup d2 \cup i2 \cup l2), (ff1, b2 \cup i2 \cup l2)$
125	{FN}	L	$(ee1 \cup ff1, r2 \cup x2 \cup z2)$
126	J	H	$(ee1, f2 \cup n2 \cup o2), (ff1, n2)$
127	{FN}	H	$(ee1 \cup ff1, bb2)$
128	{FGN}	H	$(ee1, ff2)$
129	N ≻ M ≻ J	L	$(ff1, c2 \cup d2)$
130	M ≻ J	L	$(ff1, e2)$
131	{FGM}	H	$(ff1, ee2)$
132	{FGMN}	H	$(ff1, ff2)$
133	B ≻ I ≻ J	I ≻ N ≻ M ≻ P	$(e1, a2)$
134	{BIN} ≻ J	I ≻ N ≻ M ≻ P	$(e1, b2)$
135	{AIN} ≻ J	I ≻ N ≻ M ≻ P	$(e1, c2)$
136	{B} ≻ I ≻ J	B ≻ G ≻ F ≻ L	$(f1, a2)$
137	{BIN} ≻ J	B ≻ G ≻ F ≻ L	$(f1, b2)$
138	{AIN} ≻ J	B ≻ G ≻ F ≻ L	$(f1, c2)$
139	B ≻ I ≻ J	G ≻ L	$(o1, a2)$
140	{BIN} ≻ J	G ≻ L	$(o1, b2)$
141	{AIN} ≻ J	G ≻ L	$(o1, c2)$

3.5.2　政策的含意

以上で明らかにしたミーティング均衡の性質は，情報化社会におけるフェイス・ツゥ・フェイスのコミュニケーションの将来に対していくつかの重要な問題を示唆している．**性質 3.1** はミーティングが行われないような均衡は，他の均衡状態より常にパレートの意味で支配されており，個人がミーティングを行う誘因を持つ均衡状態はコミュニケーションのない状態より社会的に望ましいことが保証されることを意味している．相手のタイプに関する情報が利用可能でない場合，ミーティングを開始した事後にミーティング効用が負となる可能性があるために，ミーティング数の増加が必ずしも社会的厚生の改善をもたらすとは限らない．分離均衡の場合には，各個人は相手のタイプを了解した上でミーティングを行っている．このため，**性質 3.2** で示したように，ミーティングの受諾者数で規定されるミーティング数が多い均衡解の方がより効率的な均衡解となることが保証される．情報化社会におけるコミュニケーションの将来を考慮するうえで，より本質的な問題は**性質 3.3** に集約的に表現されている．情報化社会が進展すればコミュニケーション相手のタイプに関するより詳細な情報が利用可能になることが期待されるが，**表 3.5** の結果より，情報の利用可能性が増加することにより複数均衡解の数が増加する可能性を否定できない．特に，異なるタイプの個人により構成される社会では，コミュニケーションの頻度が低い均衡が達成されている可能性があり，情報の利用機会が増加するだけではミーティング均衡の効率性を改善することはできない．社会が

コミュニケーション頻度の低いコミュニケーション均衡に到達することを抑止するためには，マクロなレベルでのコミュニケーション戦略の自然淘汰の様式を制御するための政策が必要とされることを示唆している．各種のコンベンション・学会等に代表されるようなミーティング戦略を用いてミーティング過程を活性化することが必要とされるわけである．

3.6 結言

本章では異質な個人によって繰り返されるミーティング過程と，そこで生じるミーティング均衡に関して分析を試みたものである．その際，ミーティング相手に関する情報が利用可能であるかどうかによって，異なったミーティング均衡が生じることを明らかにした．ミーティング均衡には複数均衡解が存在し，必ずしも望ましいミーティング相手とマッチングされるとは限らないという，調整の失敗が生じることを示した．ミーティング均衡のタイプは，個人の選好の異質性やミーティング技術に高度に依存することが判明した．また，情報の提供はミクロレベルでの非効率性を解消するものの，マクロレベルにおける複数均衡の問題は解消されないことを示した．

なお，本章における研究では，ミーティング均衡の定義とそのパターンの分類を行ったにとどまっており，多くの研究課題が残されている．第１に，本稿ではミーティング相手のタイプに関する情報の経済的価値について考察していない．また，ミーティング過程の社会的最適化の問題も考慮していない．この問題は，社会的最適性の定義とともに，政策的論議を行う上で重要な課題であろう．第２に，本章では無情報，完全情報という極端な場合をとりあげて，ミーティング均衡について考察した．特に，完全情報の場合，個人がどのように完全情報を獲得できるかに関しては何も言及していない．個人が自己のタイプに関して真の情報を開示するか，あるいは虚偽の情報を開示するかという問題も含めて，個人が自己のタイプに関する情報を開示する誘因を持つか否かというシグナリングの問題にアプローチすることが必要である．第３に，個人が相手のタイプに関する完全情報を獲得できない場合や相手のタイプを自動的に識別するようなメカニズムを持たない場合，必要以上のミーティングの申し込みが殺到する可能性がある．このようなinformation pollutionの問題も本モデルの枠組みを拡張することにより分析可能であろう．第４に，前述したように，個人のタイプがさらに増加した場合，進化論的安定性の概念を拡張する必要が生じる．本章では戦略の逐一的な侵略に対する安定性のみを考慮しているが，複数の戦略の動じる侵略に対する安定性の問題を分析する必要があろう．また，マクロなレベルでの自然淘汰のメカニズムを制御するための政策手段に関する分析も必要である．最後に，第３者が相手のタイプに関する情報を市場で購入する場合もある．このような情報市場の問題も今後に残された課題である．

参考文献

1) 松島格也，福山敬，小林潔司 : 個人選好の異質性とミーティング均衡，応用地域学研究，No.3, pp.151-164, 1998.

2) Fukuyama, K., K. Kobayashi and K. Matsushima : Search, Communication and Coordination Failure, Proc. of International Symposium on Entrepreneurship, Firm Growth and Regional Development in the New Economic Geography, pp.293-320, 2001.

3) McMillan, J. and M. Rothschild: Search, in: Aumann, R. J. and Hart, S., (eds.), *Handbook of Game Theory*, North Holland, Vol. 2, pp. 905-927, 1994.

4) Diamond, P. A.: *A Search Equilibrium Approach to the Micro Foundation of Macroeconomics*, The MIT Press, 1984.

5) Mortensen, D. T.: The Matching Process as a Noncooperative Bargaining Game, in: McCall, J. J. (ed.), *The Economics of Information and Uncertainty*, pp. 233-258, University of Chicago press, 1982.

6) Howitt, P.: Costly Search Recruiting, in: Howitt, P., (ed.), *The Keynesian Recovery and Other Essays*, pp. 177-196, Philips Allan, 1990.

7) Roth, A. and M.A.O. Sotomayor: *Two-Sided Matching, A Game Theoretic Modeling and Analysis*, Cambridge University Press, 1990.

8) Mayard-Smith, J.: *Evolution and the Theory of Games*, Cambridge University Press, 1982.

9) Friedmanm D.: Evolutionary Games in Economics, *Econometrica*, Vol. 59, pp.637-666, 1991.

10) Young, P.: The Evolution of Conventions, *Econometrica*, Vol. 61, pp. 57-84, 1993.

11) Kandori, M., G.J. Mailath and R. Rob: Learning, mutation, and long run equilibria in games, *Econometrica*, Vol. 61, pp. 29-56, 1993.

12) Weibull, J.: *Evolutionary Game Theory*, Cambridge University Press, 1995.

13) Vega-Redondo, F.: *Evolution, Games, and Economic Behaviour*, Oxford University Press, 1996.

14) 小林潔司，福山敬，松島格也：フェイス・ツゥ・フェイスのコミュニケーション過程に関する理論的研究，土木学会論文集，No.590/IV-39, pp.11-22, 1998.

15) Kobayashi, K., J.R. Roy and K. Fukuyama: Contacts With Agreement: Towards Face-to-face Communication Modeling, *The Annals of Regional Science*, Vol.32, pp.389-406, 1998.

16) 酒井泰弘:不確実性の経済学，有斐閣，1982.

17) Arther, W. B.: *Increasing Returns and Path Dependence in the Economy*, The University of Michigan Press, 1994.

18) Krugman, P.: *Geography and Trade*, The MIT Press, 1991.

4　需要と供給のマッチングによる市場の内生的形成 -タクシー市場を対象として-

4.1　緒言

前章までは交通サービスを消費する意思のある個人が自ら移動を行う交通行動に焦点をあて，交通トリップが生成する要因であるコミュニケーションに関する分析を行った．交通サービス消費に対する需要が増加すると，交通サービスを供給することを専門にする主体が表れて交通トリップを生成する個人に対してサービスを提供する．本章及び次章では，そういった交通サービスを提供する主体（供給側）と交通サービスを消費する意思を持つ主体（需要側）との間で行われる交通サービス取引に焦点をあてる．本章ではまず需要側と供給側とが１対１でマッチングされて取引を行う市場としてタクシーサービス市場に着目する．タクシーサービス市場が市場取引に参加する主体の期待により内生的に形成されるメカニズムを分析するとともに，市場厚の外部性や情報の非対称性が生じるメカニズムについて言及する．

タクシーサービスの取引は，都市内に設けられたタクシー乗り場（あるいは，地点）という局所的な市場（以下，スポット市場と呼ぶ）で発生する．近年の規制緩和政策の結果，タクシー料金に関わる価格競争が見られるようになってきたものの，個々のタクシーサービスの間には顕著な異質性は見られない．むしろ，個々のタクシーは同質なサービスを提供しており，同質なサービスが取引されるような市場が空間的に集積した結果がタクシーサービスのスポット市場であると考えることができる．

タクシーサービスの需要者と供給者が互いにマッチングされることによりサービスの売買の契約が成立するようなスポット市場では，市場取引に伴う外部経済性がスポット市場の構造を決定する[1)2)]．すなわち **1.3.4** で述べた市場厚の外部性が働く．あるスポット市場においてサービスに対する需要や供給が増加すれば，さらに多くの顧客やタクシー・ドライバーを引きつけるというポジティブなフィードバックメカニズムが働く．このようなフィードバック機能が市場集積の原因となっている．

本章では，同質なサービスを提供する不特定多数の企業（タクシー）と顧客がサービスを取引する市場が局所的に形成されるメカニズムについて分析する．タクシー市場において顕著に見られるように，このような局所市場ではサービスの取引を行うためには待ち行列に参加せざるを得ないという取引費用が発生する．企業と顧客がマッチングされるような市場では，企業と顧客の双方が集積するほど取引費用が節減されるという規模の経済性が発生する．このような市場取引に伴う規模の経済性が存在する場合，スポット市場におけるタクシーの需給関係には，複数の均衡解が存在する可能性がある．複数均衡解が存在する場合，パレート劣位な均衡解にロックインされる可能性があり，その場合 **1.5.3** で述べたように均衡間の移動を制御する方法を考える必要があろう．

一方，スポット市場におけるタクシーと客の間でのサービス取引においては情報の非対称性が存在する[3)]．タクシーは客を乗せるまで客が必要とするサービスの内容を知ることはできない．しかし，スポット市場を差別化することにより，タクシーや客は必要とするスポット市場を選択することができ，互いにタクシーのタイプや客のニーズといった私的な情報を部分的ではあるが相手に伝えることができる．

以上の問題意識の下に，本章ではタクシーサービスが取引される市場均衡モデルを提案し，スポット市場の形成メカニズムについて分析することとする．さらに，市場厚の外部性と情報の非対称性とを同時に考慮したモデルへ拡張し，望ましい運賃規制，市場差別化政策を検討する．以下，**4.2** では従来の研究概要について述べる．**4.3** ではタクシーモデルにおける市場厚の外部性と情報の非対称性について述べる．**4.4** ではスポット市場におけるタクシーサービスの取引状況を 2 重待ち行列モデルを用いて定式化する．**4.5** ではタクシー・顧客の市場参入行動をモデル化する．**4.6** では，スポット市場における市場均衡を定式化し，**4.7** で市場均衡の特性を分析する．**4.8** 以降では異質なタクシーと乗客を考慮したモデルに拡張し，情報の非対称性が市場構造へ及ぼす影響を分析する．**4.8** では拡張モデルにおけるタクシーと顧客の行動モデルを定式化し，**4.9** で運賃規制と差別化戦略の役割について述べる．**4.10** では差別化戦略が社会的厚生に及ぼす影響について言及する．

4.2 従来の研究の概要

タクシー市場の構造やその形成メカニズムは研究が遅れている分野の 1 つであった．しかし，近年におけるタクシー市場の規制緩和に関する論議の高まりの中で，都市全体を対象としたタクシー市場構造に関する理論的・実証的な研究が蓄積されつつある[4)5)6)]．このようなマクロな市場構造の分析が進展する中で，ミクロな個々のスポット市場におけるタクシー市場に関しては研究がほとんど進展していない．著者等の知る限り，わずかに，街路におけるタクシーの路上駐車の規制問題に関して研究が行われているのみである[7)]．しかし，そこではタクシーサービスの供給サイドの行動にのみ焦点が置かれている．このような均衡論的な視点を欠いた分析枠組みでは，駐車規制がもたらす効果を整合的に把握することは困難である．

タクシー市場に関する研究の蓄積は十分ではないものの，タクシー市場構造を理論的に解明しタクシー市場の規制政策を分析する試みがいくつか存在する[8)−14)]．さらに，近年のタクシー市場における規制緩和の成果に関する理論的・実証的な研究が進みつつある[4),15)−17)]．これらの研究は都市全体におけるタクシーの需給関係に焦点を絞ったものであるが，アメリカ合衆国，スウェーデンの先進事例よりタクシー市場の規制緩和の結果について懐疑的な結果が報告されている[4),17)]．規制緩和がもたらした弊害を解決するためにタクシー市場の再規制が検討されている．たとえば，ストックホルムでは，空港と都心間のタクシーサービスに対して固定運賃制度が改めて導入されている．

本章では，タクシースポット市場の構造を分析するために市場均衡モデルを提案する．著者等の知る限り，次節で述べるようなスポット市場の外部経済性を考慮したような市場均衡モデルは他に例を見ない．本稿では市場均衡のメカニズムに関する分析に焦点を絞ることとするが，本章で提案する市場均衡モデルを用いて今後各種の政策分析を行うことが可能になると考える．

4.3 市場厚の外部性と情報の非対称性

4.3.1 市場厚の外部性

タクシーサービスのスポット市場では，サービスの売り手と買い手の双方が市場で生じるであろう需要と供給の状況をあらかじめ知り得ず，互いに需給関係に関して不完全な憶測 (imperfect guess) に基づいて行動しなければならない．サービスの買い手と売り手が市場で出会うためには，互いにスポット市場まで足を運ばざるを得ない．また，市場でのマッチングを成立させるために待ち時間という取引費用が生じる．このような１）不完全な憶測と２）取引費用の存在が原因となり，市場で取引が行う際に金銭的な外部性が生じる[18)19)20)]．たとえば，タクシーが待ち時間をかけて熱心に顧客を待てば，顧客は容易にタクシーを見いだすことが可能である．顧客に関しても同様である．顧客とタクシーがより頻繁にスポット市場を訪問すれば互いに相手にとって外部的な利得を与えるという市場厚の外部経済性 (thick-market externality) が存在する．タクシーと顧客が互いに需要と供給の増加を予想すれば，このような予想は実際に需給を増加させ，そこに市場厚の外部性が働き予想は現実のものとなる．同様の理由から低い需給関係に関する予想も自己実現的 (self-fulfilling)[21)] である．両者が互いに需給を低く見積もれば，実際に市場は停滞してしまう．このように情報の不完全性と取引費用を要するマッチング市場では，非価格的な相互作用から生じる戦略的外部性 (strategic complementarity)[22)20)] が働くため，取引厚（薄）の外部性が生じ市場には乗数効果が現れる．このようなポジティブなフィードバックが働く市場では，複数の均衡解が生じる可能性が存在する．

4.3.2 情報の非対称性

スポット市場ではニーズが異なる多様なタクシーと客の間で取引が成立する．タクシーにとって「どのタイプの客とマッチングされるか」は実際に取引が成立するまで不明である．タクシーにとって客のタイプは事前に知ることが出来ない私的情報となっている．スポット市場で先着順にタクシーと客の間でマッチングが成立する場合，客は自由にタクシーのタイプ（運賃）を選択できない．客にとって「どのタイプのタクシーとマッチングされるか」は，実際に取引が行われるまで不明である．このようにタクシーと客の間には双方向の情報の非対称性が存在するため，タクシーと客が互いに望むタイプの相手と適切にマッチングされないという取引の非効率性（以下，ミスマッチングの不経済と呼ぶ）が発生する可能性がある．ミスマッチングによる非効率性が大きくなれば，特定のタイプのタクシーや客が市場より閉め出されてしまう逆選抜や取引費用の増加という外部不経済が発生する．市場に参加するタクシーや客の間に存在する異質性が大きいほど，ミスマッチングの不経済は大きくなる．

4.3.3 市場の差別化戦略

ミスマッチングの不経済はタクシーと客の間に存在する双方向の情報の非対称性に起因して生じる．このような情報の非対称性を克服する手段として，客のタイプ別に窓口を複数個設定するという市場差別化

政策が考えられる．たとえば近距離専用，長距離専用タクシー乗り場というように，客のタイプに応じた複数個の窓口を設定し，それぞれにタイプの異なるタクシーや乗客が利用するよう割り当てる．それによりタクシーや客は事前に取引相手のタイプを知ることができ，結果としてタイプの異なるタクシーと客のマッチングの効率化を促進できる．市場差別化戦略は個々の取引におけるマッチングの効率性を増加させる方策であるが，それが市場全体の効率性に及ぼす影響に関しては慎重な検討が必要である．第１に，市場差別化戦略は客のタイプにより市場を物理的に分断化するため市場薄の不経済を引き起こす．過度の市場細分化は取引の非効率化をもたらす．第２に市場の差別化戦略がタクシーや客の誘因と整合的であるかどうかという問題がある．客が指定された窓口を利用するためには，その窓口を利用することにより，より大きな効用を獲得できることが保証される必要性がある．タクシーもそれぞれ指定された窓口に参入する誘因を持たなければならない．言い換えれば，差別化戦略はタクシーや客の行動と誘因整合的 (incentive compatible) でなければならない．差別化戦略が誘因整合的でない場合，運賃規制政策を用いて各主体の行動を誘導することが必要となる．また，運賃規制政策はタクシーや客の厚生水準に影響を及ぼす．このようにタクシーと客に異質性が存在する場合，市場厚の外部性とミスマッチングの不経済を同時に考慮した望ましい運賃規制・市場差別化政策を決定することが重要な課題となる．

4.4　２重待ち行列モデルの定式化

4.4.1　モデル化の方針

マッチング・スポット市場においては，サービスの客とタクシーの双方が互いに相手の到着を待つために待ち行列を形成する．双方がスポット市場に到着することによって，客はタクシーに乗車することができる．このような待ち現象は２重待ち行列として表現できる．すでに，Kendall[24)]，Sasieni[25)] 等はタクシーベイでの待ち現象が２重待ち行列モデルとして表現できることを示すとともに，その解析方法を提案している．Kendall 流の２重待ち行列は，客とタクシーがマッチングされれば瞬時にサービス（乗車）が完了することを仮定している．現実には，サービスが直ちに完了することはなく，正のサービス時間を必要とする．この場合，客とタクシーの双方が同時に待ち行列を形成する可能性がある．しかし，正のサービス時間を仮定した場合，モデルが過度に複雑になるという問題が生じる．また，この種の混雑現象はスポット市場の外部経済性を表現するために，本質的な役割を果たさない．そこで，以下では伝統的な２重待ち行列モデルの枠組みの中で議論することとする．以下で示す２重待ち行列モデルに新規性はないが，読者の便宜を図るため待ち行列モデルについて最低限の記述を行っておく．

4.4.2　モデルの前提条件

顧客はある限られたスポット市場でタクシーに乗車すると考える．当該のスポット市場においてのみタクシーサービスが利用可能であり，スポット市場に到着した顧客にはタクシー以外に利用可能な交通手段は存在しない．一度，タクシー乗り場に到着した客は，待ち行列から立ち去ることはなく，利用可能なタクシーが到着するまで待ち続けるものと考える．すなわち，客の待ち行列長には上限が存在しない．一方，

タクシーの待ち行列長の上限値M $(M = 0, 1, 2, \cdots)$は外生的に固定されており，待ち行列長がMの時に新規に到着したタクシーは市場から立ち去ると仮定する．タクシーの待ち行列長の上限値が決定されるメカニズムは３.（４）で言及する．多くの実証研究[26)]で報告されているように、客・タクシーがそれぞれ単位時間当たり平均到着率λ, μでポワソン到着すると考える．短期均衡モデルにおいては，平均到着率λ, μが外生的に与えられており，変化しないと仮定する．伝統的な２重待ち行列モデルに従って，客とタクシーのいずれかにのみ待ち行列が発生すると考える．

4.4.3　２重待ち行列モデル

いま，客の側に待ち行列が発生している状況を考える．時刻tにおいて系にいる客の数がn $(n \geq 1)$である確率を$P_n(t)$と表す．この系の状態方程式は

$$\begin{aligned} P_n(t+\Delta t) &= (1-\mu\Delta t)(1-\lambda\Delta t)P_n(t) + (1-\mu\Delta t)\lambda\Delta t P_{n-1}(t) \\ &\quad + \mu\Delta t(1-\lambda\Delta t)P_{n+1}(t) + o(\Delta t)! \end{aligned} \tag{4.1}$$

と表わせる．一方，タクシーに待ちが発生している状況を考える．時刻tで系内のタクシー台数がm $(m = 1, \cdots, M)$である確率$Q_m(t)$とすれば，状態方程式は

$$Q_M(t+\Delta t) = (1-\lambda\Delta t)Q_M(t) + (1-\lambda\Delta t)\mu\Delta t Q_{M-1}(t) + o(\Delta t)! \tag{4.2a}$$

$$\begin{aligned} Q_m(t+\Delta t) &= (1-\lambda\Delta t)(1-\mu\Delta t)Q_m(t) + (1-\lambda\Delta t)\mu\Delta t Q_{m-1}(t) \\ &\quad + \lambda\Delta t(1-\mu\Delta t)Q_{m+1}(t) + o(\Delta t)! \end{aligned} \tag{4.2b}$$

となる．ここに，$o(\Delta t)!$は高次の微小項である．つぎに，客，タクシーの双方が待ちを作らない確率を$P_0(t) = Q_0(t)$で定義すれば，状態方程式

$$Q_0(t+\Delta t) = (1-\lambda\Delta t)(1-\mu\Delta t)Q_0(t) + \lambda\Delta t(1-\mu\Delta t)Q_1(t) + (1-\lambda\Delta t)\mu\Delta t P_1(t) + o(\Delta t)! \tag{4.3}$$

を得る．状態方程式(4.1),(4.2a),(4.2b),(4.3)の両辺をΔtで割り，$\Delta t \to 0$の極限を考える．通常の待ち行列理論と同様の方法で定常状態における状態方程式

$$-(\mu+\lambda)P_n + \lambda P_{n-1} + \mu P_{n+1} = 0 \tag{4.4a}$$

$$-\lambda Q_M + \mu Q_{M-1} = 0 \tag{4.4b}$$

$$-(\lambda+\mu)Q_m + \mu Q_{m-1} + \lambda Q_{m+1} = 0 \tag{4.4c}$$

$$-(\lambda+\mu)Q_0 + \lambda Q_1 + \mu P_1 = 0 \tag{4.4d}$$

$$(n = 1, \cdots, \infty; n = 1, \cdots, M)$$

を得る．ただし，定常解が存在するためには$\mu > \lambda$が成立しなければならない．この時，式(4.4a)-(4.4d)より客が待ち行列を作る確率及びタクシーが待ち行列を作る確率は

$$P_n = \rho^{M+n} Q_M \quad (n = 1, \cdots, \infty) \tag{4.5a}$$

$$Q_m = \rho^{M-m} Q_M \quad (m = 0, \cdots, M) \tag{4.5b}$$

と表せる．ただし$\rho = \lambda/\mu$である．また，

$$\sum_{n=1}^{\infty} P_n + \sum_{m=0}^{M} Q_m = 1 \tag{4.6}$$

が成立する．式 (4.5a),(4.5b) を式 (4.6) に代入すれば，

$$Q_M = 1 - \rho \tag{4.7}$$

を得る．したがって，定常確率P_n及びQ_mは

$$P_n = (1-\rho)\rho^{M+n} \ (n \geq 1) \tag{4.8a}$$

$$Q_m = (1-\rho)\rho^{M-m} \ (M \geq m \geq 0) \tag{4.8b}$$

と表せる．したがって，タクシーの待ち行列長の上限値が M $(M = 0, 1, 2, \cdots)$，平均到着率 (λ, μ) の場合における客・タクシーの平均待ち行列長は，それぞれ

$$E(n : \lambda, \mu, M) = \frac{\rho^{M+1}}{1-\rho} \tag{4.9a}$$

$$E(m : \lambda, \mu, M) = M - \frac{\rho}{1-\rho}(1-\rho^M) \tag{4.9b}$$

と表せる．到着率 (λ, μ) の下での客及びタクシーの平均待ち時間$T(\lambda, \mu, M), S(\lambda, \mu, M)$ は，

$$T(\lambda, \mu, M) = E(n : \lambda, \mu, M)/\lambda \tag{4.10a}$$

$$S(\lambda, \mu, M) = E(m : \lambda, \mu, M)/\mu \tag{4.10b}$$

と表せる（**付録 4.I** 参照）．タクシーが市場に到着した際，待ち行列長が Mに達している確率（呼損率ξ）は

$$\xi = Q_M = 1 - \rho \tag{4.11}$$

で与えられる．なお，以上の議論は$M = 0$の場合にも成立する．$M = 0$の場合には，タクシーは市場に到着率μで到着するが，市場で客が自分の到着を待っていなければ，直ちに市場を立ち去る．客・タクシーの平均待ち時間は，それぞれ次式で表せる．

$$T(\lambda, \mu, 0) = \frac{1}{\mu(1-\rho)} \tag{4.12a}$$

$$S(\lambda, \mu, 0) = 0 \tag{4.12b}$$

4.4.4 最大待ち行列長の決定

以上の議論では待ち行列長の上限値Mを与件と考えていた．しかし，その値はスポット市場における駐車容量やタクシーの客待ち行動により決定される．いま，スポット市場におけるタクシーの物理的な駐車

容量に制約がないと考えよう．スポット市場に到着したタクシーは，タクシーの待ち行列長を観察し，新たに行列に加わるか，他のスポット市場に移動するかを決定する．タクシーの待ち行列の長さが $m-1$ の時に新たに到着した m 番目のタクシーの平均待ち時間 $W(m)$ は

$$W(m) = \frac{m}{\lambda} \tag{4.13}$$

と表わされる（**付録 4.I** 参照）．この時，当該のタクシーの期待利潤 $EU(m)$ は

$$EU(m) = p - \frac{m}{\lambda} \tag{4.14}$$

と表わせる．p はサービス 1 単位当たりの時間単位で測定した期待利潤である．ドライバーは客を乗せるまでは，利潤を正確に把握することは不可能であるが，過去の経験を通じて期待利潤は予測できる．タクシーは当該のスポット市場を訪問するために取引費用 d を負担する．スポット市場に到着した時点で，取引費用はすでにサンクされており，ドライバーはスポット市場において正の利潤を得ることができる限り待ち行列に参入するだろう．客が到着率 λ で訪問するスポット市場において，自発的な期待利潤最大化行動によって規定される最大待ち行列長 $M(\lambda)$（以下，自発的待ち行列長と呼ぶ）は，$\Pi(m) \geq 0$ の条件より

$$M(\lambda) = [p\lambda] \tag{4.15}$$

と表せる．記号 $[\cdot]$ は $p\lambda$ を越えない最大の自然数を意味する．つぎに，スポット市場に容量制約がある場合を考えよう．スポット市場の容量を W としよう．タクシーの物理的な容量に制約がある場合，タクシーの待ち行列の最大長 $M^*(W, \lambda)$ は

$$M^*(W, \lambda) = \min\{W, M(\lambda)\} \tag{4.16}$$

で決定される．なお，タクシーが市場を訪問する誘因を持つためには少なくとも

$$p \geq d \tag{4.17}$$

が成立しなければならない．$p < d$ の場合には，タクシーは市場を訪問せずスポット市場は成立しない．

4.5 客とタクシーの行動モデルの定式化

4.5.1 モデル化の前提条件

以上では，客・タクシーの平均到着率 λ, μ を与件と考えた．しかし，長期的にはスポット市場への客・タクシーの新規参入や市場撤退が生じ，平均到着率が変化する．現行の平均待ち時間に基づく期待効用水準が顧客の保留期待効用水準より大きい限り，当該の顧客はスポット市場へ参入するだろう．一方，タクシーはタクシーの待ち行列長が M より小さい限り待ち行列に加わる．スポット市場におけるタクシーの取引費用は顧客のそれよりも小さいとはいえ，ゼロではない．タクシーはスポット市場において待ち行列に加われない場合の損失も含めて算定した期待利潤が保留水準より大きい限り，当該のスポット市場を訪れてみる価値があると判断するだろう．このような裁定の結果，スポット市場に対する客・タクシーの平均到着率がある均衡的な水準に収束する．以下，このような客・タクシーの自由参入・撤退行動をモデルしよう．

4.5.2　タクシーの行動モデル

客の到着率λをひとまず与件と考えよう．スポット市場の物理的駐車容量をW $(W = 0, 1, \cdots)$ と表そう．$W \geq M(\lambda)$ が成立する場合，待ち行列の最大長 (4.16) の定義より $M^*(W, \lambda) = M(\lambda)$ が成立する．したがって，以下では$W \leq M(\lambda)$ が成立する場合に着目して議論を進める．いま，待ち行列長の上限値Mが $M = W \leq M(\lambda)$ を満足する場合に着目する．スポット市場に駐車スペースが存在していない場合，スポット市場に到着したタクシーは直ちに市場を立ち去ると考える．待ち行列長がW未満の場合には，直ちに市場に参入する．市場参入を諦める確率（呼損率）は式 (4.11) より$\xi = 1 - \rho$で表わせる．この場合，利潤$-d$を得る．一方，確率$1 - \xi = \rho$で市場参入し，期待利潤

$$\Pi = p - S'(\lambda, \mu, W) - d \tag{4.18}$$

を得る．利潤は時間単位で計測されている．$S'(\lambda, \mu, W) = S(\lambda, \mu)/\rho$はタクシーの待ち行列長の上限が$W$であり，かつ到着率$\mu$の場合のタクシーの平均待ち時間を表す．具体的には，式 (4.10b) を用いて

$$S'(\lambda, \mu, W) = \frac{1}{\mu\rho}\left\{W - \frac{\rho}{1-\rho}(1 - \rho^W)\right\} \tag{4.19}$$

で表せる．なお，駐車容量がない（$W = 0$）場合，

$$S'(\lambda, \mu, 0) = 0 \tag{4.20}$$

である．タクシーがスポット市場を訪問することにより得られる期待利潤$E(\Pi, W)$ $(W = 0, 1, 2, \cdots)$ は

$$\begin{aligned} E(\Pi, W) &= \rho\{p - S'(\lambda, \mu, W)\} - d \\ &= \rho p - S(\lambda, \mu, W) - d \end{aligned} \tag{4.21}$$

と表せる．タクシーは当該のスポット市場を訪問することにより正の利潤を得ることができる限り当該市場を訪問する．客の到着率μを与件とした時に，タクシーのスポット市場への長期的な到着率は

$$\frac{\lambda}{\mu^*}p - S(\lambda, \mu^*, W) - d = 0 \tag{4.22}$$

を満足するようなμ^*として定義できる．ただし，Wは$M(\lambda) \geq W \geq 0$を満足する自然数である．

4.5.3　客の行動モデル

客がタクシーを利用することにより得られる効用をv，タクシーに乗車するための待ち時間をtと表そう．客の効用関数を危険中立型効用関数

$$V = v - t \tag{4.23}$$

を用いて表現する．効用関数は時間単位で計測されている．効用項vは目的地で獲得する効用値から所要時間，運賃等の不効用，スポット市場までの移動不効用を差し引いた値を表しており，個人にとっては確

定値であるが観測者にとっては直接観測できない確率変数である．ここで，タクシーの到着率μを与件とする．さらに，客の平均到着率を仮にλであると想定しよう．この時，客の平均待ち時間は式 (4.12a) よりタクシーの平均到着率μ，サービス率$\rho = \lambda/\mu$，スポット市場の容量Wの関数として

$$T(\lambda, \mu, W) = \frac{\rho^W}{\mu(1-\rho)} \tag{4.24}$$

と表される．タクシーを利用することによる期待効用は

$$EV = v - T(\lambda, \mu, W) \tag{4.25}$$

と表せる．いま，個々の客は当該のスポット市場を利用するかどうかを期待効用EVを用いて判断すると考える．スポット市場に到着するためには十分大きい取引（アクセス）費用を要するため，市場に行くかどうかを事前に判断する．一度，市場に到着すれば取引費用はすでにサンクされており，待ち行列長に関わらず市場にとどまる．客は期待効用が正である限り，スポット市場に参入するインセンティブを持つ．いま，タクシーを利用する可能性のある顧客の確率効用項vが区間 $[0, \bar{v}]$ 上で確率分布関数 $F(v)$ に従って分布していると考えよう．確率分布の形状に関して特定化せずに議論を進める．ここに，$\bar{v}$は顧客がタクシーを利用することによって得られる効用の上限値である．$\bar{v} = \infty$ であっても差し支えないが，当面の間$\bar{v}$は有限の値をとると仮定する．式 (4.25) より，顧客の待ち時間の上限値$\overline{T}(\lambda, \mu, W)$ は条件 $EV = 0$ より$\overline{T}(\lambda, \mu, W) = \bar{v}$ と表せる．式 (4.24) より，スポット市場が成立する（顧客がスポット市場を訪問する）ためには

$$\frac{\rho^W}{\mu(1-\rho)} \leq \bar{v} \tag{4.26}$$

が成立しなければならない．潜在的顧客の総数を$\overline{H}$とすれば，タクシーーを利用する顧客数hは

$$h = \overline{H}\{1 - F(T(\lambda, \mu, W))\} \tag{4.27}$$

で表される．各客のスポット市場への到着間隔が互いに独立な同一のポワソン分布（平均$1/\nu$) に従うと仮定すれば，h 人の顧客による平均到着率は$\lambda = h\nu$と表せる．また，長期的均衡における客の到着率は

$$\lambda^* = \sigma\{1 - F(T(\lambda^*, \mu, W))\} \tag{4.28}$$

を満足するようなλ^*に決定される．$\sigma = \nu\overline{H}$である．ただし，上式を満足するようなλ^*は条件 (4.26) を満足しなければならない．以上では，客・タクシーの平均到着率μ, λが決定されるメカニズムを，それぞれ相手の到着率を与件として考察してきた．しかし，客とタクシーの到着率は相互に関係し合っている．次節では両者が同時に決定されるメカニズムについて考察する．

4.6 単一市場均衡解

4.6.1 市場均衡解の分類

スポット市場が成立するためには，客・タクシーの双方がスポット市場を訪問しなければならない．**表 4.1** に示すように，スポット市場が成立する場合，タクシーが客待ちを行うか否かで 1 ）いわゆる「流しの

表 **4.1**　市場均衡解の分類

<table>
<tr><td>均衡状態</td><td colspan="2">制限均衡</td><td>自由参入均衡</td></tr>
<tr><td>市場の種類</td><td>流しの市場</td><td colspan="2">スポット市場</td></tr>
<tr><td>成立条件</td><td>$W = 0$
$\frac{1}{\mu(1-\rho)} \leq \bar{v}$
$p > d$</td><td>$W < M(\lambda^*(W))$
$\frac{\rho^W}{\mu(1-\rho)} \leq \bar{v}$
$p > d$</td><td>$W = M(\lambda^*(W))$
$\frac{\rho^W}{\mu(1-\rho)} \leq \bar{v}$
$p > d$</td></tr>
</table>

タクシー」市場と，２）タクシーが客待ちを行うスポット市場に分類できる．一方，タクシーの待ち行列の最大長が式 (4.16) と表されることに着目すれば，市場均衡解を２種類のタイプに分類することができる．すなわち，１）タクシーの駐車容量 W が，のちに **4.5.3** で述べるような駐車容量 W の下での条件付き自発的待ち行列長 $M(\lambda^*(W))$ より小さい場合，２）タクシーの駐車容量が条件付き自発的待ち行列長 $M(\lambda^*(W))$ と等しい場合である．１）の場合には，タクシーの待ち行列長がタクシー駐車容量で制約される．このように客・タクシーの到着が駐車容量で規定されるような均衡を，本章では制限均衡 (constrained equilibrium) と呼ぶ．一方，２）の場合には，タクシー容量は自発的待ち行列長に一致しており，駐車容量がさらに増加しても客・タクシーの平均到着率は変化しなくなる．換言すれば，駐車容量を増加させても，常に駐車スペースに空きが生じる状態となる．このような客・タクシーの自由な市場参入により実現するような均衡を自由参入均衡 (free entry equilibrium) と呼ぶこととする．駐車容量 W が条件付き自発的待ち行列長 $M(\lambda^*(W))$ が一致する場合，当該の駐車容量の下で実現する制限均衡解が駐車容量制約のない場合に実現する自由参入均衡解に一致する．したがって，自由参入均衡解は制限均衡解の中に含まれる．そこで，以下ではまず制限均衡解を定式化することとする．

4.6.2　制限均衡解（$W = 0$ の場合）

タクシーの待ち行列長の上限値が $W = 0$ の場合を考える．タクシーの客待ち駐車は禁止されている．タクシーが市場を訪問した時に客が待っていなければ，タクシーはスポット市場を直ちに立ち去ることになる．いわゆる「流しのタクシー」によるサービスの授受はこのケースに該当する．式 (4.12b) よりタクシーの待ち時間は

$$S(\lambda, \mu, 0) = 0 \tag{4.29}$$

で表せる．一方，式 (4.12a) より客の待ち時間は

$$T(\lambda, \mu, 0) = \frac{\rho}{\mu(1-\rho)} \tag{4.30}$$

と表される．均衡到着率は式 (4.22),(4.28) を満足するような (λ^*, μ^*) として定義できる．すなわち，駐車容量 $W = 0$ の下での制限均衡 $(\lambda^*(0), \mu^*(0))$ は

$$\lambda^* = \sigma \left\{ 1 - F\left(\frac{1}{\mu(1-\rho^*)} \right) \right\} \tag{4.31a}$$

$$\rho^* = \frac{d}{p} \tag{4.31b}$$

を満足するようなナッシュ均衡解 (λ^*, μ^*) として定義できる．このようなスポット市場が成立するためには，客とタクシーの双方がスポット市場を訪問するという誘因を持たなければならない．条件 (4.17), (4.26) より

$$p \geq d \tag{4.32a}$$

$$\frac{1}{\mu(1-\rho)} \leq \bar{v} \tag{4.32b}$$

が成立しなければならない．以上の条件を満足するナッシュ均衡解が存在しない場合には，$W = 0$ のスポット市場は成立しない．この場合，６．で詳述するように，$(\lambda, \mu) = (0, 0)$ のみが安定均衡解となる．

4.6.3　制限均衡解（$W \geq 1$ の場合）

いま，$W = 0$ の下でのスポット市場が成立する場合に着目しよう．スポット市場にタクシー駐車スペースを設けることにより，市場均衡解がどのように変化するかについて分析する．式 (4.10b) よりタクシーの待ち時間は

$$S(\lambda, \mu, W) = \frac{1}{\mu}\left\{W - \frac{\rho}{1-\rho}(1-\rho^W)\right\} \tag{4.33}$$

で表せる．一方，式 (4.10a) より客の待ち時間は

$$T(\lambda, \mu, W) = \frac{\rho^W}{\mu(1-\rho)} \tag{4.34}$$

と表される．均衡到着率は式 (4.22),(4.28) を満足するような (λ^*, μ^*) として定義できる．すなわち，駐車容量 W の下での制限均衡解 $(\lambda^*(W), \mu^*(W))$ は

$$\lambda^* = \sigma\left\{1 - F\left(\frac{{\rho^*}^W}{\mu(1-\rho^*)}\right)\right\} \tag{4.35a}$$

$$d = \rho^* p - \frac{1}{\mu^*}\left[W - \frac{\rho^*}{1-\rho^*}(1-{\rho^*}^W)\right] \tag{4.35b}$$

を満足するナッシュ均衡解 (λ^*, μ^*) として定義できる．いま，駐車容量 W の下でタクシーの客待ち行動により生じる条件付き自発的待ち行列長を $M(\lambda^*(W)) = [p\lambda^*(W)]$ と表そう．タクシーの待ち容量 W (> 0) の下での制限均衡が成立するためには，タクシーの容量がタクシーの条件付き自発的待ち行列長 $M(\lambda^*(W))$ より小さくなければならない．すなわち，客の均衡到着率 $\lambda^*(W)$ は

$$\lambda^*(W) \geq \frac{W}{p} \tag{4.36}$$

を満足する必要がある．式 (4.36) が成立しない場合には，タクシーの条件付き自発的な待ち行列長 $M(\lambda^*(W))$ が W より小さくなるため，駐車容量 W が 2 重待ち行列モデルにおける待ち行列長 M となるような制限均衡は実現しない．当然のことながら，着目している W より小さい駐車容量の下では制限均衡解が存在する可能性がある．

4.6.4 自由参入均衡解

任意のWの下での制限均衡における客の均衡到着率を$\lambda^*(W)$と表そう．$W \leq M(\lambda^*(W))$が成立している限り，タクシーは駐車容量一杯まで客待ち駐車を行う誘因を持つだろう．しかし，$W > M(\lambda^*(W))$が成立している場合，タクシーの駐車スペースには常に空きが生じることとなる．自由参入市場ではタクシーは期待利潤が正となる限り市場参入を試みる．したがって，

$$\left.\begin{array}{ll} W > M(\lambda^*(W)) & W > W^* \text{の時} \\ W = M(\lambda^*(W)) & W = W^* \text{の時} \end{array}\right\} \tag{4.37}$$

が成立するような最大の駐車容量W^*が存在する．この時，$M(\lambda^*(W^*))= [p\lambda^*(W^*)]$は駐車制限がないような市場環境の下で実現するタクシーの待ち行列長の上限値となる．また，自由な市場参入の下で実現する自由参入均衡解は駐車容量W^*の下での制限均衡解$(\lambda^*(W^*), \mu^*(W^*))$と一致する．駐車容量が$W^*$より大きくなれば，$W > M(\lambda^*(W^*))$が成立する．この場合，タクシーが長さ$M(\lambda^*(W^*))$以上の待ち行列を形成することはありえず，制限均衡$(\lambda^*(W), \mu^*(W))$は実現しない．換言すれば，常に駐車スペースに空きが生じることとなる．

4.7 市場均衡の特性

4.7.1 2重待ち行列と規模の経済性

式(4.9a),(4.9b)より平均待ち行列長$E(n:\lambda,\mu,M)$,$E(m:\lambda,\mu,M)$は平均到着率λ,μに関してゼロ次同次関数であり，任意の$\mu > \lambda \geq 0$と$\theta > 0$に関して

$$E(n:\lambda,\mu,M) = E(n:\theta\lambda,\theta\mu,M) \tag{4.38a}$$

$$E(m:\lambda,\mu,M) = E(m:\theta\lambda,\theta\mu,M) \tag{4.38b}$$

が成立する．客とタクシーの平均到着率が共にθ倍になっても待ち行列長は変化しない．一方，式(4.10a),(4.10b)より明らかなように，任意の$\mu > \lambda \geq 0$と$\theta > 1$に関して

$$T(\lambda,\mu,M) = \theta T(\theta\lambda,\theta\mu,M) \tag{4.39a}$$

$$S(\lambda,\mu,M) = \theta S(\theta\lambda,\theta\mu,M) \tag{4.39b}$$

が成立する．すなわち，客，タクシーの平均到着率が増加すれば，系全体における客・タクシーの平均待ち時間は減少する．市場に参入する客・タクシーの数が多くなればなるほど，市場が効率化していくという取引厚の外部性が存在する．一方，λ，μの内，片方のパラメータ値を固定し他方のパラメータ値のみを$\theta\ (>1)$倍した場合，

$$T(\lambda,\mu,M) < T(\theta\lambda,\mu,M) \tag{4.40a}$$

$$S(\lambda,\mu,M) < S(\lambda,\theta\mu,M) \tag{4.40b}$$

が成立する．すなわち，客あるいはタクシーの到着率のみが単独に増加した場合，客あるいはタクシーの平均待ち時間は増加する．したがって，客・タクシーのそれぞれ待ち現象においては到着率が増加すれば混雑現象が生起する．以上で議論したように，タクシーサービスのスポット市場における市場取引では，客あるいはタクシーの到着率の増加が市場取引を通じて互いに他方の到着率の増加をもたらすという金銭的外部経済が存在している．このような金銭的外部経済性が一方の到着率の増加（減少）が他方の到着率の増加（減少）をもたらすというポジティブ・フィードバックとして機能することになる．その一方で，客あるいはタクシーの到着率が増加すれば，それぞれの平均待ち行列長が長くなるという混雑現象も生じる．スポット市場の構造は，このような金銭的外部経済と混雑という外部不経済の相互作用によって内生的に決定されることとなる．なお，客とタクシーの到着率は市場において内生的に決定される値であり，式(4.39a),(4.39b)に示すような規模の経済性が存在する場合，市場環境パラメータp, d, σに応じてスポット市場の構造は複雑に変化する．

4.7.2　複数均衡解の存在

式(4.36)より，駐車容量W $(W = 0, 1, 2\cdots)$の下での制限均衡が成立するような客の均衡到着率の下限値を$\overline{\lambda}(W) = \frac{W}{p}$と定義しよう．明らかに$\overline{\lambda}(W)$は単調に増加する数列となる．客が市場に到着するインセンティブを持つためには式(4.26)が成立する必要がある．すなわち，駐車容量Wの下で$(0,0)$でない制限均衡解$(\lambda^*(W)$,$\mu^*(W))$が存在するためには式(4.35a),(4.35b)を満足するλ^*, μ^*が

$$\lambda^* \geq \overline{\lambda}(W) \tag{4.41a}$$
$$\frac{\rho^{*W}}{\mu^*(1-\rho^*)} \leq \bar{v} \tag{4.41b}$$

を満足しなければならない．まず，スポット市場の容量が$W = 0$の場合をとりあげる．タクシーの市場アクセス誘因を表す条件(4.32a)は満足されている場合を考える．タクシー及び客のスポット市場への到着率は，式(4.31a),(4.31b)を同時に満足するようなナッシュ均衡λ^*, μ^*として求められる．式(4.31b)より均衡サービス率は常に一定値$\rho^\circ = \frac{d}{p}$をとる．そこで，均衡条件(4.31a)を

$$\lambda^* = \sigma\left\{1 - F\left(\frac{\rho^\circ}{\lambda^*(1-\rho^\circ)}\right)\right\} \tag{4.42}$$

と書き換える．式(4.42)の右辺を$\Gamma(\lambda, 0)$と表そう．ここに，$\Gamma(\lambda, 0)$はλに関する単調増加関数であり，$\lim_{\lambda\to\infty}$ $\Gamma(\lambda, 0) = \sigma < \infty$が成立する．$W = 0$の場合には，条件(4.41a)は自動的に満足される．条件(4.41b)より，スポット市場が成立するためのタクシーの均衡到着率の下限値は

$$\underline{\mu} = \frac{1}{\bar{v}(1-\rho^\circ)} \tag{4.43}$$

となる．点$(\underline{\lambda}, \underline{\mu}) = (\frac{\rho^\circ}{\bar{v}(1-\rho^\circ)}, \frac{1}{\bar{v}(1-\rho^\circ)})$において$\Gamma(\bar{\lambda}, 0) = 0$が成立する．$\lambda = 0$の時，$\rho p - d = -d < 0$となり$\mu = 0$となる．均衡解$(0, 0)$は局所的に安定的であり一度$(0, 0)$に到達すればその点にロックインされる（**付録4.II**参照）．一方，式(4.42)が解λ^*を持つ場合を考えよう．λ^*が安定均衡解であるためには，の

ちに**図4.1**に示すような$y-\lambda$平面上で関数$y=\Gamma(\lambda,0)$が点λ^*において45度線$y=\lambda$を上方から交差しなければならない．すなわち，

$$1 > \frac{\partial\Gamma(\lambda,0)}{\partial\lambda}\Big|_{\lambda^*} > 0 \tag{4.44}$$

が成立する必要がある．式(4.42)及び条件(4.44)を満足するλが少なくとも1つ以上存在する場合，安定均衡解は$(0,0)$も含めて少なくとも2個以上存在することが保証される（**付録4.II**参照）．特に，確率効用項が一様分布に従う場合，安定均衡解は1個$(0,0)$のみか，あるいは2個の安定均衡解$(0,0)$,(λ^*,μ^*)が存在することが保証される．しかし，確率効用項が一般的な確率分布に従う場合，安定均衡解の個数は確率分布の形式に依存する．安定均衡解の個数を解析的に求めることは困難であり，数値計算に頼らざるを得ない．以上の議論は$W\geq 1$の場合にも容易に拡張することができる．式(4.35b)において，あるλに対して$1>\rho>0$を満足するようなμ^*が存在する（**付録4.II**参照）．このようなμ^*を$\mu^*(\lambda)$と表そう．この時，式(4.35a)を$\lambda=\Gamma(\lambda,\mu^*(\lambda),W)$と表すことができる．いま，$\lambda^*=\Gamma(\lambda^*,\mu^*(\lambda^*),W)$を満足する均衡解$\lambda^*$が

$$1 > \frac{\partial\Gamma(\lambda,\mu^*(\lambda),W)}{\partial\lambda}\Big|_{\lambda^*} > 0 \tag{4.45}$$

満足する場合，均衡解$(\lambda^*,\mu^*(\lambda^*))$は安定的である．安定均衡解が条件(4.41a),(4.41b)を満足しない場合，当該の駐車容量Wの下では制限均衡解が存在せず，より小さい駐車容量の下で制限均衡解が存在するかどうかを検討する必要がある．なお，$W\geq 1$において安定的な制限均衡解が存在すれば$W=0$において制限均衡解は必ず存在することが保証される．ここに，以下の命題を得る．

命題4　スポット市場が成立しないような均衡解$(0,0)$は安定的な制限均衡，自由参入均衡となりうる．市場均衡条件(4.35a),(4.35b)が$(0,0)$以外に，条件(4.41a),(4.41b),(4.45)を満足する制限均衡解，自由参入均衡解が存在する場合には均衡解$(0,0)$を含めて複数の均衡解が存在する．

なお，以上の議論では確率効用項がある閉区間$[0,\bar{v}]$上で分布する場合を考えていた．議論を拡張し，確率効用の分布関数$F(v)$が$[0,\infty]$で定義される場合を考えよう．ただし，確率効用の確率密度関数$f(v)$は$\lim_{v\to\infty} f(v)=0$を満足すると仮定する．いま，$\lambda=\rho^\circ\mu$の関係を満足しながらλが0に漸近する極限を考えよう．極限において，$\lim_{\lambda\to 0}\Gamma(\lambda,0)=0$が成立する．したがって，点$\lim_{\lambda\to 0}(\rho^\circ\lambda,\lambda)=(0,0)$は均衡解である．$\Gamma(\lambda,0)$は$\lambda$に関して増加関数であり，$\lim_{\lambda\to 0}\partial\Gamma/\partial\lambda=0$が成立する（**付録4.II**参照）．したがって，均衡解$(0,0)$は局所的に安定的な均衡解である．式(4.35a),(4.35b)が解$(0,0)$以外に条件(4.41a),(4.45)を満足する制限均衡解，自由参入均衡解が存在する場合には均衡解$(0,0)$を含めて複数の均衡解が存在する．したがって，確率効用項の上限値が無限大の場合にも**命題4**が成立する．

4.7.3　駐車容量と市場均衡解の関係

2重待ち行列モデルとして表現されるスポット市場では，顧客とタクシーの到着の間には，1）客・タクシーの到着率の増加が互いに相手の到着率の増加をもたらすという金銭的な外部経済性，2）客・タク

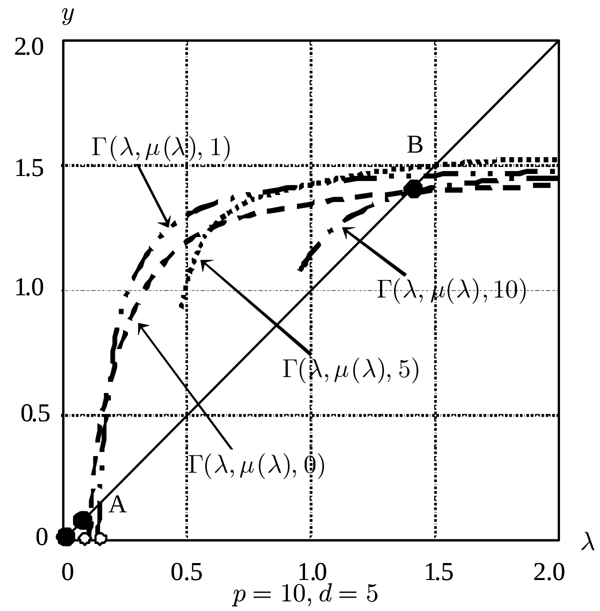


図 4.1　市場均衡のメカニズム ($Case\ A$)

シーのそれぞれの到着率の増加は，客・タクシーそれ自体の待ち行列長の増加を招くという混雑現象が存在する．このようにスポット市場の均衡メカニズムには，同一主体間における外部不経済と異主体間における外部経済という複雑なメカニズムが働くため，駐車容量の増加が必ずしも客・タクシーの平均到着率の増加や平均待ち時間の減少につながるわけではない．特に，駐車容量を増加すればタクシーの待ち行列長が増加し，結果としてタクシーの平均待ち時間は増加する．このことは長期的にタクシーの市場への到着率の減少を招く可能性がある．制限均衡は式 (4.35a),(4.35b) を満足する安定的なナッシュ均衡解として得られるが，駐車容量が均衡解に及ぼす影響を解析的に判定することは不可能である．その影響を分析するためには数値解析によらざるを得ない．そこで，以下では数値計算事例を通じて駐車場容量が市場均衡に及ぼす影響を分析してみよう．

4.7.4　数値計算事例

数値計算にあたり基本ケース（以下，$Case\ A$ と呼ぶ）のパラメータの値を以下のように設定した．期待利潤 p は 1 回当たりのサービスの対価を 5000 円と想定し，それをタクシー・ドライバーの時給 2000 円／時（月給 32 万円，月 160 時間労働）で割った値，すなわち 2.5 時間（150 分）とする．さらに，タクシーが市場にアクセスするための取引費用 d を 1 時間とする．需要ポテンシャルを表すパラメータ σ の値を 1 に設定する．

顧客の確率効用 v が区間 $[0, 10]$ 上で一様分布に従って分布していると仮定しよう．一般の確率分布を仮定しても**命題 4** の内容を確認することができるが，複数均衡解が確率分布の形状と市場取引における金銭的外部経済性の双方の効果が複合した形で現れる．以下では，金銭的外部経済性が複数均衡解の存在をもたらす

表 4.2　均衡到着率の変化

W	$\lambda^*(W)$	$\mu^*(W)$
0	1.40	2.79
1	1.44	2.79
5	1.48	2.28
10	1.40	1.66

メカニズムに焦点を絞って分析するために一様分布を仮定することとする．いま，あるλに対して式 (4.35b) を満足するようなμの値を$\mu^*(\lambda)$ と表そう．この時，式 (4.35a) の両辺をそれぞれ$y=\lambda$，$y=\Gamma(\lambda,\mu^*(\lambda),W)$ という２つのグラフに表現することができる．**図 4.1** において，45 度線がグラフ$y=\lambda$を表している．**図 4.1** には異なるWに対応した関数$\Gamma(\lambda,\mu^*(\lambda),W)$ を併記している．ここでは，条件 (4.41a),(4.41b) を満足する領域においてのみ関数$\Gamma(\lambda,\mu^*(\lambda),W)$ を図示している．まず，$(\lambda,\mu)=(0,0)$ は安定均衡解である．さらに，各$\Gamma(\lambda,\mu^*(\lambda),W)$ が上方から 45 度線と交わる点が，それぞれのWの値に対応した安定均衡解となる．まず，駐車容量がない場合（$W=0$) に着目しよう．式 (4.42) を満足する解として原点O以外に点A，点Bの２つが存在している．このうち点Aは不安定均衡解であり，点Bのみが安定均衡解となる．いま，初期時点における客の到着率が何らかの理由により点Aにおける客の到着率λ_Aより大きかった場合を想定しよう．この場合，λの値が大きくなれば，タクシーの期待利潤が増加し式 (4.22) が成立するまでタクシーの到着が増加する．タクシーの到着率が増加すれば客の到着率も増加する．このような市場厚の外部経済性が働くため，最終的に点Bにおいて市場均衡が成立する．一方，初期時点において到着率がλ_A以下の場合を考えよう．この場合，式 (4.28) より初期時点よりλが減少する．客の到着が減少すればタクシーの到着率も減少し，最終的には$(\lambda,\mu)=(0,0)$ が成立する．このような市場薄の外部不経済性が存在する場合，スポット市場は成立しなくなる．いま，初期均衡解が点Bに位置している場合を考えよう．さらに，駐車容量Wを増加させる．**表 4.2** は，駐車容量Wの各値の下での制限均衡解 $(\lambda^*(W),\mu^*(W))$ を示している．この数値計算事例では駐車容量Wを大きくなるほど，タクシーの均衡到着率が減少する結果となっている．駐車容量が大きくなれば，タクシーの待ち行列長が増加する．その結果，タクシーの客待ち時間が長くなり，結果的にタクシーの平均到着率が減少する．その結果，駐車容量の増加に伴い客の到着率が減少する場合が生じる．２重待ち行列では顧客とタクシーの到着の間には前述のような金銭的な外部経済性が機能する．しかし，顧客の到着率の増加は（タクシーの到着率が一定である限り），顧客の待ち時間の増加をもたらす．すなわち，顧客の到着現象の間には混雑という外部不経済が機能する．一方，タクシーの行動に関しても同様のメカニズムが働く．個々の客やタクシーは，自分の行動が他の客やタクシーの待ち時間に及ぼす影響を考慮せずに市場を訪問するため，そこに混雑という外部不経済が機能することとなる．したがって、駐車容量の増加が必ずしも客・タクシーの平均到着率の増加や平均待ち時間の減少につながるわけではない．つぎに，**図 4.2** は$Case\ B$ $(p=6,d=5)$ に設定した場合の結果を示している．ここでは，$Case\ A$よりも期待利潤が低く設定されている．$Case\ B$では，曲線$\Gamma(1)=\Gamma(\lambda,\mu^*(\lambda),1)$ と$\Gamma(0)=\Gamma(\lambda,0)$ の双方

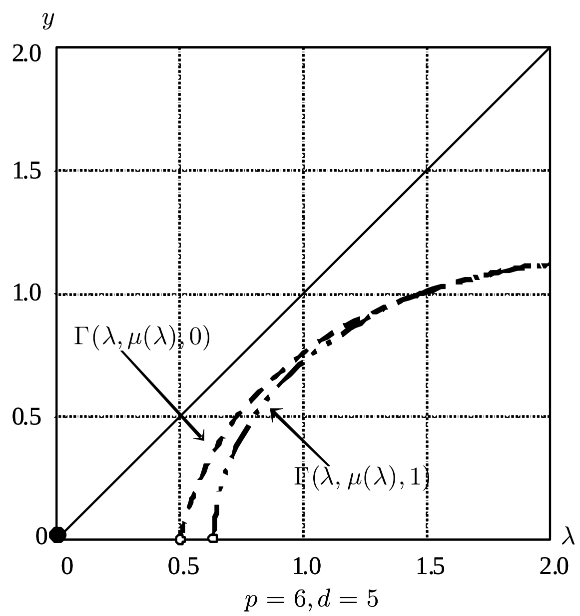


図 4.2　市場均衡のメカニズム ($Case\ B$)

が 45 度線と交点を持たない結果となっている．すなわち，タクシーサービスのスポット市場は成立しない．

4.7.5　政策的含意

命題 4 に示すように，タクシーサービスのスポット市場の均衡解には複数均衡解が生じる可能性が存在する．初期時点において客の到着率がある臨界的水準以下にとどまっている場合には，$(\lambda,\mu)=(0,0)$ というタクシーも客も到着しない均衡解に収束しスポット市場は消滅する．しかし，到着率がある臨界的水準を超えた場合には，市場厚の外部経済性が機能しスポット市場均衡解に到達する．したがって，スポット市場としてのタクシー・ターミナルを整備する場合，初期時点においてある一定レベルの客の到着率を確保するする施策を講じることが必要となる．**6.(3)** で述べたように，スポット市場には異主体間での取引に伴う金銭的外部経済性と同一主体内での混雑という 2 種類の外部性が働く．個々の客やタクシーは，自分の行動が他の客やタクシーの待ち時間に及ぼす影響を考慮せずに市場を訪問するため，客やタクシーの市場への自由な到着が社会的に望ましい市場均衡を実現できるとは限らない．したがって，数値計算事例で示したように，駐車容量の増加が必ずしも客やタクシーの平均到着率の増加や期待待ち時間の減少につながらない場合が生じうる．換言すれば，自由参入均衡の効率性が制限均衡よりも劣ることがありうる．本事例で示したように，タクシーの客待ちによる混雑の外部性が金銭的外部経済性が卓越する場合，タクシーの客待ち行列長に規制を設けることが必要となる．限られた数値計算事例の結果から一般的な結論を導くことはできないが，少なくとも以上の結果より，タクシーの駐車容量の設定においては慎重な対応が必要となることは理解できよう．

4.8 タクシー・客の異質性と市場均衡

4.8.1 モデル化の前提

前節までに述べたように，タクシーのスポット市場には，タクシーと客がサービス取引をするために，実際に市場に移動し取引相手を待たねばならないという取引費用が存在する．このため，タクシーと客の到着が増加すると双方の待ち時間が減少し，サービス取引が効率化されるという市場厚の経済性が存在する[1)]．言い換えれば，タクシースポット市場では，そこに混雑が発生しない限り，市場規模が大きくなるほどサービス取引が効率化される．したがって，市場厚の経済性の視点に立てば，スポット市場の分割は効果的ではない．

一方，スポット市場におけるタクシーと客の間でのサービス取引においては情報の非対称性が存在する．すなわち，タクシーは客を乗せるまで客が必要とするサービスの内容を知ることはできない．スポット市場を利用する客にタクシーが先着順に割り当てられれば，客は自分の順番になるまで，割り当てられるタクシーのタイプを知ることができない．しかし，スポット市場を差別化することにより，タクシーや客は必要とするスポット市場を選択することができ，互いにタクシーのタイプや客のニーズといった私的な情報を部分的ではあるが相手に伝えることができる．このような自己選抜行動を通じて，タクシーと客のマッチングの効率化を達成することが可能となる．

スポット市場における取引においては，市場厚の経済性と情報の非対称性による不経済が同時に働くため，スポット市場の差別化政策にあたっては慎重な検討が必要となる．以下では，これら２種類の外部（不）経済を同時に考慮したスポット市場均衡モデルを提案し，望ましい運賃規制，市場差別化施策を検討しよう．

スポット市場では，異質なタイプのタクシーと客が混在しサービス取引が行われる．スポット市場でのマッチングは先着順で行われ，タクシーと客の双方が取引相手のタイプを事前に知ることはできない．このように異質なタイプの主体が互いに取引相手のタイプに関する情報を知らないような状況で成立する均衡状態をプーリング均衡と呼ぶ．議論を簡単にするために，スポット市場を利用する客が遠距離利用客（タイプ１）と近距離利用客（タイプ２）という２つのタイプに分類できると考える．つぎに，２つの異なるタイプのタクシーが市場に到着すると考える．２つのタイプのタクシーは異なる運賃を設定しており，市場にアクセスするための走行費用も異なると考える．タイプ k $(k = 1, 2)$ のタクシーがタイプ i $(i = 1, 2)$ の顧客に設定する運賃を p_{ki} と表す．運賃は時間単位で表現されている．当面の間，各タイプのタクシーの運賃は与件と考える．たとえば，タイプ１のタクシーは遠隔地（都心）の営業所を拠点とし，タイプ２のタクシーはターミナル近接地域を拠点としているとしよう．いずれのタイプのタクシーも，取引を終了した（あるいは市場を立ち去る）時点で，必ず１度営業所に帰還すると仮定する．また，タクシーはスポット市場に空車でアクセスすると考える．タクシーが客を乗せてスポット市場にアクセスすることもある．この場合でも，実車によるタクシーの到着を外生的に固定的到着率として取り扱えば，以下の議論をそのまま適用することができる．

タイプ k $(k = 1, 2)$ のタクシーが営業所からスポット市場にアクセスするために要する片道の走行費用を

$d_k/2$ と表そう．走行費用 $d_k/2$ は時間単位で表現されている．タイプ１のタクシーがタイプ１の客とマッチングした場合，タクシーは往復の走行費用 d_1 を負担し目的地まで到達したのち費用 0 で営業所に帰還できる（取引が成立しない場合も同様の走行費用を負担する）．しかし，タイプ２の客とマッチングした場合，スポット市場と客の目的地間の走行費用 d_2 とスポット市場と営業所の間の走行費用 d_1 の双方を負担しなければならない．タイプ２のタクシーに関しても同様の議論が成立する．したがって，タイプ k $(k=1,2)$ のタクシーがタイプ i $(i=1,2)$ の客とマッチングされる場合に負担する走行費用 d_{ki} は，それぞれ次式のようになる．

$$d_{ki}=\begin{cases} d_k & \text{タイプ}\ i=k\ \text{の客と取引する場合} \\ d_k+d_i & \text{タイプ}\ i\neq k\ \text{と取引する場合} \\ d_k & \text{取引が成立しない場合} \end{cases} \tag{4.46}$$

各タイプのタクシーと客に対して次式が成立する．

$$d_{11}<d_{12} \quad d_{21}>d_{22} \tag{4.47}$$

すなわち，タイプ１のタクシーとタイプ１の客，タイプ２のタクシーとタイプ２の客の間で取引が成立するようなマッチングが保証された場合，タクシーの走行費用を最小にすることができる．以下，このようなマッチングを効率的マッチングと呼ぶこととする．

4.8.2　タクシーの行動モデル

タイプ k $(k=1,2)$ のタクシーの到着率を μ_k，タイプ i $(i=1,2)$ の客の到着率を λ_i と表す．対象地域で営業を営むそれぞれのタイプのタクシーの数は十分多く，市場への到着率に関して制約はないと仮定する．２つのタイプのタクシーと客が同一の窓口で待ち行列を形成するため，タクシーと客の到着率をそれぞれ $\lambda=\lambda_1+\lambda_2$，$\mu=\mu_1+\mu_2$ とするような単一窓口の２重待ち行列モデルでサービス取引を表現できる．いずれのタイプのタクシーも確率 $\rho=\lambda/\mu$ で市場に参入することが可能であり，確率 λ_1/λ でタイプ１の客と確率 λ_2/λ でタイプ２の客とマッチングする．確率 $1-\rho$ でスポット市場を立ち去る．タイプ k $(k=1,2)$ のタクシーがサービス取引で負担する期待走行費用は

$$\overline{d_k}=d_k+\rho\frac{\lambda_i}{\lambda}d_i\ (k,i=1,2,\ i\neq k) \tag{4.48}$$

と表せる．式 (4.48) を用いて $\overline{d_1},\overline{d_2}$ を評価すれば

$$\begin{aligned} \overline{d_1}\geq\overline{d_2} & \quad \left(\tfrac{\mu-\lambda_2}{\mu-\lambda_1}\leq\tfrac{d_1}{d_2}\text{の時}\right) \\ \overline{d_1}<\overline{d_2} & \quad \left(\tfrac{\mu-\lambda_2}{\mu-\lambda_1}>\tfrac{d_1}{d_2}\text{の時}\right) \end{aligned} \tag{4.49}$$

が成立する．すなわち，各タイプのタクシーの期待走行費用はスポット市場における客のタイプの構成比に依存する．本ケースでは，２つのタイプの客が待ち行列を形成しており，タクシーは取引が成立するまで相手の客のタイプは分からない．タイプ k のタクシーが獲得できる期待運賃収入 $\overline{p_k}$ は

$$\overline{p_k}=\frac{\sum_{i=1}^{2}\lambda_i p_{ki}}{\lambda} \tag{4.50}$$

と表せる．のちに示すように，市場均衡では２つのタイプのタクシーがともに市場参入できる保証はない．ここでは，タイプkのタクシーのみが市場に参入できると考えよう．式(4.15)よりタイプkのタクシーの自発的容量は

$$M(\lambda_1, \lambda_2, p_{k1}, p_{k2}) = [\overline{p_k}\lambda] \tag{4.51}$$

となる．タクシーは待ち行列長が自発的待ち行列長より短い場合に待ちに参加し，そうでない場合は市場から立ち去る．すなわち，スポット市場を訪問したタイプkのタクシーは確率$\rho = \lambda/\mu$で待ち行列に参加して期待粗利潤$\overline{p_k} - S'(\lambda, \mu)$を獲得し，確率$1-\rho$でスポット市場に参入できず粗利潤0を得る．ただし，$S'(\lambda, \mu) = S(\lambda, \mu)/\rho$はタクシーの平均待ち時間であり，$S(\lambda, \mu)$は式(4.12b)で表される．さらに，タイプ$k$のタクシーが市場を訪問するために走行費用$\overline{d_k}$を負担することを考慮すれば，タイプ$k$のタクシーがスポット市場を訪問することにより獲得できる期待純利潤は

$$EU_k(\lambda_1, \lambda_2, \mu_k, p_{k1}, p_{k2}) = \rho\overline{p_k} - S(\lambda, \mu) - \overline{d_k} \tag{4.52}$$

と表せる．客の到着率λ_1, λ_2とタクシーの運賃p_{ki} $(i = 1, 2)$を固定しよう．この時，タクシーの自由参入の結果，客のλ_1, λ_2を所与とした条件付き均衡到着率μ_k^*が得られる．いま，仮想的にタイプ１，タイプ２のいずれかのタクシーのみが市場参入した状況を考え，λ_1, λ_2を所与とした条件付き市場均衡を考える．このような仮想的な条件付き市場均衡において，$EU_1(\lambda_1, \lambda_2, \mu_1^*, p_{11}, p_{12}) > EU_2(\lambda_1, \lambda_2, \mu_2^*, p_{21}, p_{22})$が成立する場合を考えよう．長期市場均衡では，当該市場の期待純利潤が0になるまでタクシーが市場に参入する．したがって，条件付き均衡において$EU_1(\lambda_1, \lambda_2, \mu_1^*, p_{11}, p_{12}) = 0$が成立する．その結果，$EU_2(\lambda_1, \lambda_2, \mu_2^*, p_{21}, p_{22}) < 0$が成立し，タイプ２のタクシーは市場に参入できない．逆に，$EU_1(\lambda_1, \lambda_2, \mu_1^*, p_{11}, p_{12}) < EU_2(\lambda_1, \lambda_2, \mu_2^*, p_{21}, p_{22})$が成立する場合はタイプ１のタクシーが市場に参入できない．したがって，はじめに想定したように，長期均衡において，期待純利潤が大きいタイプのタクシーのみがスポット市場を占拠する．市場を占拠するタイプのタクシーの均衡到着率は

$$\max_k \left\{ \frac{\lambda}{\mu^*}\overline{p_k} - S(\lambda, \mu^*) - \overline{d_k} \right\} = 0 \tag{4.53}$$

を満足するμ^*で表される．上式の最大値を与えるタクシーのタイプをk^*と表そう．$k^* \neq l$であるlに対して

$$\frac{\lambda}{\mu^*}\overline{p_{k^*}} - \overline{d_{k^*}} > \frac{\lambda}{\mu^*}\overline{p_l} - \overline{d_l} \tag{4.54}$$

が成立する場合，$\mu_{k^*}^* = \mu^*$，$\mu_l^* = 0$となる．上式が等号で成立する場合，２つのタイプのタクシーの均衡到着率μ^*は一意に求まるが，各タイプのタクシーの均衡到着率は不定になる．

4.8.3　客の行動モデル

タイプkのタクシーが到着率μ_kでスポット市場に到着すると考えよう．先着順にタクシーが割り当てられ，客は取引相手のタイプを選択できないと考える．この時，タイプiの客が負担する期待運賃$\overline{P_i}$は

$$\overline{P_i} = \frac{\sum_{k=1}^{2} \mu_k p_{ki}}{\mu} \tag{4.55}$$

と表される．スポット市場を到着率λ_iで訪問するタイプiの客の主観的期待効用$EV_i(\lambda_1, \lambda_2, \mu_1, \mu_2, \overline{P_i})$は

$$EV_i(\lambda_1, \lambda_2, \mu_1, \mu_2, \overline{P_i}) = v_i - \overline{P_i} - T(\lambda, \mu) \tag{4.56}$$

と表す．v_iはタイプiの客がタクシーを利用することよって得られる効用，$\overline{P_i}$はタイプiの客がタクシーに支払う運賃を時間単位に換算した値を表す．いま，タイプiの客は当該のスポット市場を利用するかどうかを期待効用$EV_i(\lambda_1, \lambda_2, \mu_1, \mu_2, \overline{P_i})$を用いて判断すると考える．タクシーを利用する可能性のある客の確率効用項v_iが，客のタイプに関わらず区間$[0, \overline{v_i}]$上で確率分布関数$F_i(v_i)$(確率密度関数$f_i(v_i)$)に従って分布すると仮定する．ここに，$\overline{v_i}$は客がタクシーを利用することによって得られる効用の上限値である．タクシー以外の交通手段を利用した場合に得られる留保効用水準を0に基準化しよう．この時，タクシーを利用する効用が正となる客がタクシーを利用することになる．したがって，タイプiの客がスポット市場を訪問するためには

$$T(\lambda, \mu) + \overline{P_i} \leq v_i \tag{4.57}$$

が成立しなければならない．タイプiの潜在的客の総数を$\overline{H_i}$とすれば，タクシーを利用する客数h_iは

$$h_i = \overline{H_i}\{1 - F_i(T(\lambda, \mu) + \overline{P_i})\} \tag{4.58}$$

で表せる．個々の客のスポット市場への到着間隔が互いに独立な同一のポワソン到着(平均$1/\nu_i$)に従うと仮定すれば，h_i人の客による平均到着率は$\lambda_i = h_i\nu_i$と表せる．したがって，長期均衡における客iの到着率は

$$\lambda_i^* = \sigma_i\{1 - F_i(T(\lambda^*, \mu) + \overline{P_i})\}\ (i = 1, 2) \tag{4.59}$$

を満足するような$\lambda_i^*\ (i = 1, 2)$に決定される．ここで，$\sigma_i = \nu_i\overline{H_i}$である．したがって，運賃$p_{ki}\ (k, i = 1, 2)$を与件とする場合の市場均衡は

$$\lambda_1^* = \sigma_1\{1 - F_1(T(\lambda^*, \mu^*) + \overline{P_1})\} \tag{4.60a}$$

$$\lambda_2^* = \sigma_2\{1 - F_2(T(\lambda^*, \mu^*) + \overline{P_2})\} \tag{4.60b}$$

$$\min_k \left\{ \frac{\lambda^*}{\mu^*}\overline{p_k} - S(\lambda^*, \mu^*) - \overline{d_k} \right\} = 0 \tag{4.60c}$$

を満足する$\lambda_1^*, \lambda_2^*, \mu_{k^*}^*$により表せる．ただし，$k^*$は式(4.60c)を最小にするような$k$を表す.

4.9 運賃規制と市場差別化戦略

4.9.1 問題設定

不特定多数のタクシーと客がサービス取引を行うスポット市場では，タクシーと客が互いに相手のタイプが判らないという情報の非対称性が存在する．タクシーと客の間に異質性が存在する場合，タクシーと客の効率的なマッチングが達成される保証はない．タクシーと客の異質性が大きくなれば，特定のタイプの

タクシーに市場が占拠されたり，タクシーの走行費用が増大するというミスマッチングの不経済が発生する．ミスマッチングの不経済を小さくするためには，タクシーや客のタイプに応じて市場を分離する市場差別化政策が有効となる．以下，**4.9.2** では，まずタクシーと客が単一の窓口でサービス取引を行い，規制運賃が適用される場合を考える．この場合，タクシーはどちらのタイプの客と取引が成立するかを事前に知ることはできない．このような単一の窓口で成立する市場均衡がプーリング均衡である．つぎに，**4.9.3** では，客のタイプごとに異なった窓口が設置されている場合を考える．このような状況の下で成立する市場均衡を分離均衡と呼ぶ．さらに，分離均衡がタクシーや客の行動と誘因整合的であるかどうかを検討する．

4.9.2　プーリング市場と運賃規制

4.7 までの議論では，タクシーの運賃を与件としていた．しかし，各タイプのタクシーが自由に料金を設定できる場合，運賃は長期的な市場競争の結果として内生的に決定される．公共主体により各タイプの客に対してプライスキャップ p_1，p_2 が設定されており，その下で各タイプのタクシーは自由に運賃を決定できると考える．いま，何らかの歴史的な事情により，２つのタイプのタクシーがそれぞれ運賃 p_{1i}, p_{2i} $(i = 1, 2)$ を設定した仮想的な状況を考えよう．しかし，このような状況は持続可能ではない．タクシーがスポット市場で取引を行うためには待ち行列に参加せざるを得ないため市場均衡において式(4.54) が成立し，走行費用の小さいタイプ k^{**} のタクシーのみが市場を占拠する．一方，客は先着順にタクシーを割り当てられる（タクシーのタイプを選択できない）ため，市場から閉め出されたタイプのタクシーはスポット市場に参入するためにタイプ k^{**} のタクシーより高い運賃を設定しなければならない．しかし，タイプ k^{**} のタクシーも同様に運賃を増加させることができる．タクシーの長期的な参入競争の結果，タイプ k^{**} のタクシーは運賃をその上限 p_1, p_2 に設定する．それにより，タイプ k^{**} のタクシーは，一方のタクシーの市場参入を阻止することができる．すなわち，プライスキャップの設定は，実質的には運賃規制と同じ効果を持つことになる．プライスキャップが存在しない場合，タクシー間の参入競争により運賃が上昇し，最終的には市場が消滅する可能性がある．このため，スポット市場を存続させるために運賃の上限規制が必要となる．このようなプーリング均衡解 (PE) は

$$\lambda_1^{**} = \sigma_1\{1 - F_1(T(\lambda^{**}, \mu^{**}) + p_1)\} \tag{4.61a}$$

$$\lambda_2^{**} = \sigma_2\{1 - F_2(T(\lambda^{**}, \mu^{**}) + p_2)\} \tag{4.61b}$$

$$\frac{\lambda^{**}}{\mu^{**}}\overline{p} - S(\lambda^{**}, \mu^{**}) = \min_k\{\overline{d_k}\} \tag{4.61c}$$

を満足する $\lambda_1^{**}, \lambda_2^{**}, \mu^{**}$ により表せる．ただし，$\overline{p} = \sum_{i=1}^{2} p_i\lambda_i/\lambda$ である．式(4.54) が成立する場合，$\mu_{k^{**}}^{**} = \mu^{**}, \mu_l^{**} = 0$ となる．式(4.54) が等号で成立する場合，２つのタイプのタクシーが市場に参入でき，タイプの構成比は不定になる．長期市場均衡では走行費用 $\overline{d_k}$ の小さいタイプ k^{**} のタクシーのみが市場参入し，いま一方のタクシーは市場に参入できない．その結果，タイプ k^{**} のタクシーがタイプ i の客と取引をした場合に発生するタクシーの走行費用 $d_{k^{**},i}$ に対して

$$d_{k^{**}i} \geq d_i \ (i = 1, 2) \tag{4.62}$$

が成立する．タクシーと客の間に情報の非対称性が存在するために，タクシーは走行費用の大きいタイプの客ともマッチングされることになる．その結果，効率的なマッチングが達成された場合と比較して，タクシーが負担する走行費用は増加する．すなわち，異質なタイプのタクシーと客が混在するプーリング均衡ではタクシーと客の双方が希望する相手とマッチングできないというミスマッチングの不経済が発生する．

4.9.3　分離市場と運賃規制

スポット市場には２つの窓口が設置されており，タイプ１のタクシーと客は窓口１を，タイプ２のタクシーと客は窓口２を利用すると考える．当面の間，タクシーと客は効率的なマッチングを形成するために，自分のタイプに応じた窓口を利用することが義務づけられていると仮定する．のちに，このような利用規制の誘因整合性を分析する．また，タイプ１のタクシーと客の取引には運賃p_1が，タイプ２のタクシーと客の取引には運賃p_2がプライスキャップとして適用される．**4.9.2** で議論したように，プライスキャップ規制はタクシーの市場参入競争を通じて実質的な運賃規制として機能する．

各窓口におけるサービス取引をそれぞれ独立な２重待ち行列モデルで記述することができる．窓口iを訪問するタイプiの客の到着率をλ_i，タイプiのタクシーの到着率をμ_iとすると，窓口iにおけるタクシー，客の平均待ち時間は$S_i(\lambda_i, \mu_i)$，$T_i(\lambda_i, \mu_i)$で表すことができる．タイプiのタクシーの自発的容量$M_i(\lambda_i, p_i)$は

$$M_i(\lambda_i, p_i) = [p_i \lambda_i] \tag{4.63}$$

であり，タイプiのタクシーの期待純利潤は

$$EU_i(\lambda_i, \mu_i, p_i) = \rho_i p_i - S_i(\lambda_i, \mu_i) - d_i \tag{4.64}$$

となる．なお，$\rho_i = \lambda_i / \mu_i$である．客の到着率$\lambda_i$を与件としたタイプ$i$のタクシーの条件付き均衡到着率は

$$\frac{\lambda_i}{\mu_i^\circ} p_i - S_i(\lambda_i, \mu_i^\circ) - d_i = 0 \tag{4.65}$$

を満足するμ_i°に決定される．一方，窓口iを訪問するタイプiの客の主観的期待効用$EV_i(\lambda_i, \mu_i, p_i)$は

$$EV_i(\lambda_i, \mu_i, p_i) = v_i - p_i - T_i(\lambda_i, \mu_i) \tag{4.66}$$

であり，μ_iを与件としたタイプiの客の均衡到着率は

$$\lambda_i^\circ = \sigma_i \{1 - F_i(T_i(\lambda_i^\circ, \mu_i) + p_i)\} \ (i = 1, 2) \tag{4.67}$$

を満足するようなλ_i°に決定される．以上の各条件を成立すれば分離均衡解(SE)は

$$\lambda_1^\circ = \sigma_1 \{1 - F_1(T_1(\lambda_1^\circ, \mu_1^\circ) + p_1)\} \tag{4.68a}$$

$$\lambda_2^\circ = \sigma_2 \{1 - F_2(T_2(\lambda_2^\circ, \mu_2^\circ) + p_2)\} \tag{4.68b}$$

$$\frac{\lambda_1^\circ}{\mu_1^\circ} p_1 - S_1(\lambda_1^\circ, \mu_1^\circ) = d_1 \tag{4.68c}$$

$$\frac{\lambda_2^\circ}{\mu_2^\circ} p_2 - S_2(\lambda_2^\circ, \mu_2^\circ) = d_2 \tag{4.68d}$$

を満足する $(\lambda_1^\circ, \mu_1^\circ), (\lambda_2^\circ, \mu_2^\circ)$ により表せる．以上で議論した分離均衡では，各窓口には走行費用の小さいタクシーのみが訪問するため，**4.9.2** で議論したようなミスマッチングの不経済は発生しない．

以上の議論では，それぞれのタイプのタクシーと客が指定された窓口を利用することが義務づけられていた．このようなタクシーや客の行動に対する規制が誘因整合的であるかどうかを検討する必要がある．タイプ k $(k = 1, 2)$ のタクシーが窓口 kを訪問したときにはタイプ kの客とサービス取引を行い，走行費用 d_kを支払うが，窓口 j $(j \neq k)$ を訪問したときにはタイプ jの客とサービス取引を行い，走行費用 $d_k + d_j$ を支払わねばならない．したがって，市場均衡において

$$EU_2(\lambda_1^\circ, \mu_1^\circ, p_1) \leq EU_1(\lambda_1^\circ, \mu_1^\circ, p_1) = 0 \tag{4.69a}$$

$$EU_1(\lambda_2^\circ, \mu_2^\circ, p_2) \leq EU_2(\lambda_2^\circ, \mu_2^\circ, p_2) = 0 \tag{4.69b}$$

が常に成立する．すなわち，タイプ 1 のタクシーは窓口 1 を，タクシー 2 は窓口 2 を利用する誘因を持つ．すなわち，市場差別化政策はタクシーの行動と誘因整合的である．つぎに，客の行動に関する誘因整合性を検討するために，各タイプの家計が市場均衡において，他の窓口を利用した場合に獲得できる期待効用を比較してみよう．いま，2 つの窓口における待ち時間に関して，$T_1(\lambda_1^\circ, \mu_1^\circ) > T_2(\lambda_2^\circ, \mu_2^\circ)$ が成立すると仮定しよう．この時，

$$EV_1(\lambda_1^\circ, \mu_1^\circ, p_1) < EV_1(\lambda_2^\circ, \mu_2^\circ, p_2) \tag{4.70a}$$

$$EV_2(\lambda_1^\circ, \mu_1^\circ, p_1) < EV_2(\lambda_2^\circ, \mu_2^\circ, p_2) \tag{4.70b}$$

が成立し，いずれのタイプの客も窓口 2 を利用する誘因を持つ．逆に，$T_1(\lambda_1^\circ, \mu_1^\circ) < T_2(\lambda_2^\circ, \mu_2^\circ)$ が成立する場合，いずれの客も窓口 1 を利用しようとする誘因を持つ．したがって，市場差別化政策は客の行動と誘因整合的ではない．客の自己選抜行動を通じて市場差別化を実現するためには，

$$p_1 + T_1(\lambda_1^\circ, \mu_1^\circ) < \hat{p}_1 + T_2(\lambda_2^\circ, \mu_2^\circ) \tag{4.71a}$$

$$\hat{p}_2 + T_1(\lambda_1^\circ, \mu_1^\circ) > p_2 + T_2(\lambda_2^\circ, \mu_2^\circ) \tag{4.71b}$$

が成立するようなペナルティ運賃$\hat{p}_1, \hat{p}_2$を導入し，タイプ 1 の客が窓口 2 を利用した場合にペナルティ運賃$\hat{p}_1$を，タイプ 2 の客が窓口 1 を利用した場合にペナルティ運賃$\hat{p}_2$を課徴すればいい．ペナルティ運賃制度を導入した場合，客はそれぞれ指定された窓口を利用するため実際にペナルティ運賃が支払われることはない．

4.9.4　スポット市場の特殊性と運賃規制

本節で議論したプーリング市場におけるミスマッチングの不経済と分離市場における誘因整合性の問題は，スポット市場においてタクシーと客が先着順にマッチングされるというサービスの取引様式の仮定に依存している．このような取引様式ではタクシーも客も相手を選択することができない．その結果，タクシーの市場参入競争が運賃を増加させるように機能する．タクシーの運賃が高い値に固定された場合，タ

クシーは非常に長い待ち時間を要して客待ちをする．それより安い運賃を設定したタクシーは待ち行列に参加することはできない．その結果，運賃の高いタクシーによりスポット市場が占拠されてしまうという現象が生じる．このようなスポット市場におけるサービス取引の特殊性の結果，市場競争が社会的に最適な均衡運賃を誘導するとは限らず運賃規制が必要となる．また，**4.9.3** で議論したように，分離市場では客の誘因整合性を確保するために，客の自己選抜行動を通じて市場差別化政策を実現することが必要となる．このような誘因整合的運賃制度は前述したペナルティ運賃以外にも存在する．ここでは客のタイプが２種類のみであるので，固定運賃を考えれば十分である．より一般的には，たとえば遠距離客には大きな初乗り運賃と小さい限界可変運賃，近距離客にはより小さい初乗り運賃とより大きな限界可変運賃を組み合わせたような非線形運賃体系を設計することにより対処できる．

4.9.5　市場均衡の特性と複数均衡解

分離均衡では，２つの窓口において独立に市場均衡が成立する．したがってそれぞれの市場において **4.6.2** と同様の議論が成立する．一方プーリング均衡の構造は多少複雑である．議論の簡単化のために，２つのタイプのタクシーの運賃が同一水準 $p_{11} = p_{21} = p_1$，$p_{21} = p_{22} = p_2$ に，走行費用も同一水準 d に固定されているとしよう．式 (4.60a)，(4.60b)，(4.60c) より，プーリング均衡解は

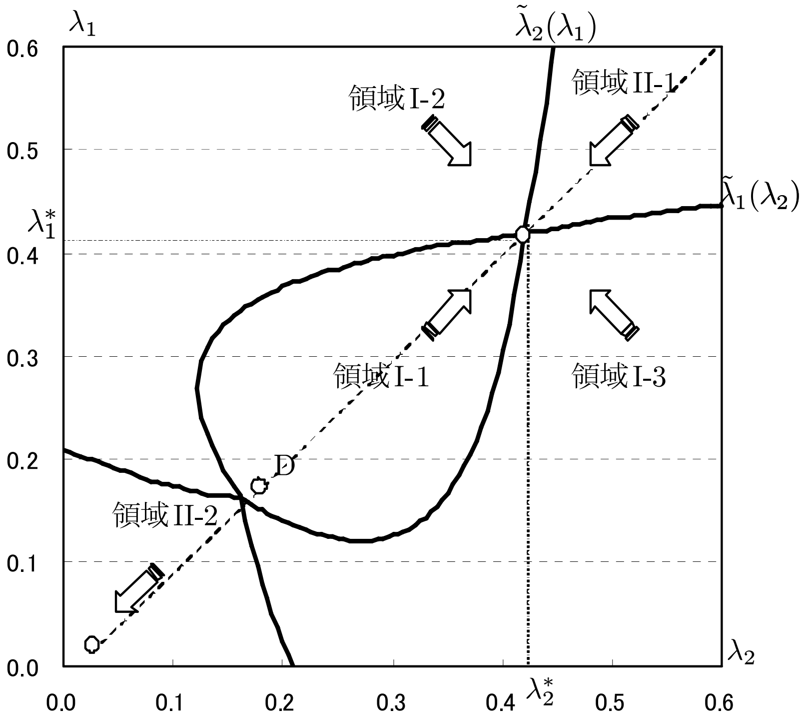
$$\lambda_1^{**} = \sigma_1\{1 - F_1(T(\lambda^{**}, \mu^{**}) + p_1)\} \tag{4.72a}$$

$$\lambda_2^{**} = \sigma_2\{1 - F_2(T(\lambda^{**}, \mu^{**}) + p_2)\} \tag{4.72b}$$

$$\frac{\lambda^{**}}{\mu^{**}}\overline{p} - S(\lambda^{**}, \mu^{**}) = \overline{d} \tag{4.72c}$$

を同時に満足するような $\lambda_i^{**}, \mu_i^{**}$ として定義される．本事例の場合，タクシーの運賃，走行費用は２つのタイプの間で同一の値をとると仮定しているため，条件 (4.54) は期待走行費用によって決定される．したがって，$\lambda_1 > \lambda_2$ が成立する場合，$\overline{d_1} < \overline{d_2}$ が成立し，タイプ１のタクシーがスポット市場を占拠する．逆に，$\lambda_1 < \lambda_2$ が成立する場合，タイプ２のタクシーがスポット市場を占拠する．$\lambda_1 = \lambda_2$ が成立する場合，２つのタイプのタクシーが市場に混在することができ，タイプ別のタクシーの構成比は不定となる．

記述の簡便化のために，式 (4.72a),(4.72b) をそれぞれ $\lambda_1 = \Theta_1(\lambda_1, \lambda_2, \mu), \lambda_2 = \Theta_2(\lambda_1, \lambda_2, \mu)$ と表そう．さらに，λ_1, λ_2 に対して式 (4.72c) を満足するような μ を $\mu^{**}(\lambda_1, \lambda_2)$ と表そう．いま，λ_2 の値を $\overline{\lambda_2}$ に固定しよう．この時，式 (4.72a) は２つのグラフ $y = \lambda_1$ と $y = \Theta_1(\lambda_1, \overline{\lambda_2}, \mu^{**}(\lambda_1, \overline{\lambda_2}))$ に分解することができる．これらの２つのグラフの交点は $\overline{\lambda_2}$ の値を与件とした時の条件付き均衡解を表している．$\overline{\lambda_2}$ の値を変化させることにより均衡解も連続的に変化する．このような均衡解の軌跡を $\tilde{\lambda}_1(\lambda_2)$ と表す．同様に，λ_2 に関しても均衡解の軌跡 $\tilde{\lambda}_2(\lambda_1)$ を求めることができる．この時，**図 4.3** に示すように，$\lambda_1 - \lambda_2$ 平面を１）$\lambda_1 > \tilde{\lambda}_1(\lambda_2)$, $\lambda_2 > \tilde{\lambda}_2(\lambda_1)$（領域 I-1），２）$\lambda_1 > \tilde{\lambda}_1(\lambda_2)$, $\lambda_2 < \tilde{\lambda}_2(\lambda_1)$（領域 I-2），３）$\lambda_1 < \tilde{\lambda}_1(\lambda_2)$, $\lambda_2 > \tilde{\lambda}_2(\lambda_1)$（領域 I-3），４）$\lambda_1 < \tilde{\lambda}_1(\lambda_2)$，$\lambda_2 < \tilde{\lambda}_2(\lambda_1)$（領域 II-1, II-2) に分割できる．市場均衡解はそれぞれのタイプの客の到着率が他のタイプの客の均衡到着率を与件としたときに実現する当該顧客の条件付き均衡到着率に一致するような到着率として定義される．すなわち，均衡解は $(\lambda_1^\circ(\lambda_2^\circ), \lambda_2^\circ) = (\lambda_1^\circ, \lambda_2^\circ(\lambda_1^\circ))$ を満足する点とし



客の確率効用項 v_i $(i=1,2)$ は区間 $[0.0, 5.0]$ 上で一様分布．$\sigma_1=\sigma_2=2.5$．$d_1=d_2=0.5$，$p=p_1=p_2=4.0$ と仮定した計算事例を示している．$d_1=d_2, p_1=p_2$ の仮定より $\lambda_1=\lambda_2$ 上では２つのタイプのタクシーが併存し各タイプの到着率は不定となる．

図 4.3　プーリング均衡解

て定義できる．なお，本事例ではタイプ別のタクシーの運賃，走行費用の対称性を仮定しているため，２つの軌跡 $\tilde{\lambda}_1(\lambda_2)$ と $\tilde{\lambda}_2(\lambda_1)$ は**図 4.3** に示すように互いに 45 度線に対して対称的になっている．45 度線より上側の領域ではタイプ１のタクシーが，下側の領域ではタイプ２のタクシーが市場を占拠する．前述したように，45 度線上では２つのタイプのタクシーが混在する．

市場不均衡における λ_1，λ_2 の移行動学を

$$\frac{d\lambda_1}{dt} = \eta_1\{\lambda_1 - \Theta_1(\lambda_1, \lambda_2, \mu^{**}(\lambda_1, \lambda_2))\} \tag{4.73a}$$

$$\frac{d\lambda_2}{dt} = \eta_2\{\lambda_2 - \Theta_2(\lambda_2, \lambda_1, \mu^{**}(\lambda_2, \lambda_1))\} \tag{4.73b}$$

と表そう．ただし，$\eta_1 > 0$，$\eta_2 > 0$ はパラメータである．いま，初期点における λ_1, λ_2 が領域 II-1 の内部に位置していたとしよう．この時，移行動学 (4.73a),(4.73b) より，$d\lambda_1/dt \leq 0, d\lambda_2/dt \leq 0$ が成立する．すなわち，タイプ１，タイプ２の客の到着率は次第に減少し（**図 4.3** の領域 II-1 内の矢印の方向へ移行し），安定均衡解 $(\lambda_1^{**}, \lambda_2^{**}) = (0.42, 0.42)$ に収束する．他の領域内の移行動学において，λ_1, λ_2 が変化する方向は**図 4.3** の各領域に表されているとおりである．その結果，初期到着率が領域 II-2 の中にある場合には，両タイプの客の到着率は減少し，長期的な均衡到着率は安定均衡解 $(\lambda_1^{**}, \lambda_2^{**}) = (0.0, 0.0)$ に収束する．初期

点がそれ以外の領域にある場合には客の長期的な均衡到着率は安定均衡解 $(\lambda_1^{**}, \lambda_2^{**}) = (0.42, 0.42)$ に収束する．なお，図中の点 D は不安定均衡解を表している．以上のように初期時点の客の到着率によって達成される市場均衡は異なり，スポット市場には複数の安定均衡解が存在する．

4.10　差別化戦略と社会的厚生

4.10.1　市場均衡のタイプと社会的厚生

本章でとりあげた市場均衡のタイプとして，１）プーリング均衡解 $(\mu_i^{**}, \lambda_i^{**})$，２）分離均衡解 $(\mu_i^{\circ}, \lambda_i^{\circ})$ がある．**4.9** で考察したように，プーリング市場，個々の窓口における分離市場には，１）市場が成立しない，２）市場が成立するという２つの安定的な均衡解が存在する可能性がある．市場が成立しない場合には社会的厚生は 0 となる，以下では，市場が成立するような均衡解に着目し，市場均衡における社会的厚生を定義する．タクシーは期待純利潤が 0 の水準となるまでスポット市場に参入するため生産者余剰は 0 となる．したがって，社会的厚生として消費者余剰の総和を考える．仮定より，客がタクシー以外の交通手段を獲得した場合，効用水準は 0 となる．まず，プーリング均衡では各タイプの客の期待効用が式 (4.56) で表される．確率効用項 v_i が確率密度関数 $f_i(v_i)$ に従う場合，社会的厚生 SS^{PE} は

$$SS^{PE} = \sum_{i=1}^{2} \sigma_i \Big\{ \int_{\tau_i^{PE}}^{\overline{v_i}} (v_i - \tau_i^{PE}) f_i(v_i) dv_i \Big\} \tag{4.74}$$

と表される．ただし，$\tau_i^{PE} = T(\lambda^{**}, \mu^{**}) + \overline{P}_i$ である．つぎに，分離均衡 SE に対しても，式 (4.74) における τ_i^{PE} を $\tau_i^{SE} = T_i(\lambda_i^{\circ}, \mu_i^{\circ}) + p_i$ に置換することにより，分離均衡における社会的余剰 SS^{SE} を定義できる．

ここで，社会的厚生 SS^{PE}，SS^{SE} が規制運賃 p_1, p_2 の関数として表現されていることに留意しよう．このことを明示的に表現するために，プーリング市場，分離市場で達成される社会的厚生をそれぞれ運賃 p_1, p_2 の関数として $SS^{PE}(p_1, p_2)$, $SS^{SE}(p_1, p_2)$ と表わそう．この時，プーリング市場，分離市場における最適規制運賃 (p_1^{**}, p_2^{**})，及び $(p_1^{\circ}, p_2^{\circ})$ は

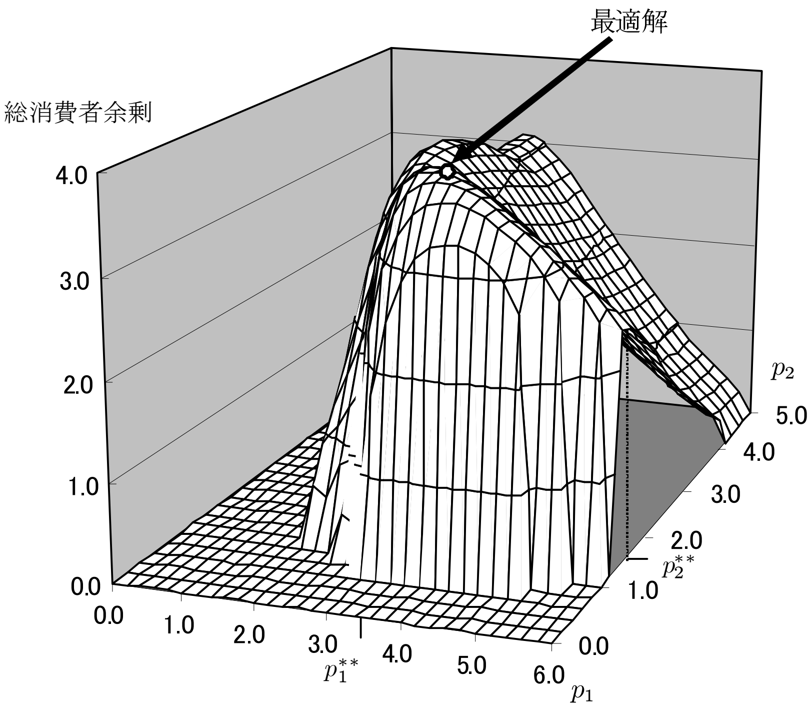
$$(p_1^{**}, p_2^{**}) = \arg\max_{p_1, p_2} \{SS^{PE}(p_1, p_2)\} \tag{4.75a}$$

$$(p_1^{\circ}, p_2^{\circ}) = \arg\max_{p_1, p_2} \{SS^{SE}(p_1, p_2)\} \tag{4.75b}$$

と定義することができる．ただし，arg は式 (4.75a), (4.75b) の右辺を最大にするような運賃を指示する記号である．

4.10.2　最適運賃と社会的厚生

これまでに得た理論的な知見や市場差別化政策や運賃規制が社会的厚生に及ぼす影響を簡単な数値計算事例を用いて説明しよう．数値計算事例の目的は読者の直観的な理解を助ける点にあり，現実の問題に関わる政策情報を提示することを目的としていない．なお，数値計算の結果を**図 4.4** から**図 4.8** までに示すが，それぞれの図において設定したパラメータ値は各図の脚注に示すとおりである．**図 4.4** はプーリング市場においてプライスキャップ規制値 p_1, p_2 と安定均衡解における社会的厚生の関係を表している．プーリ

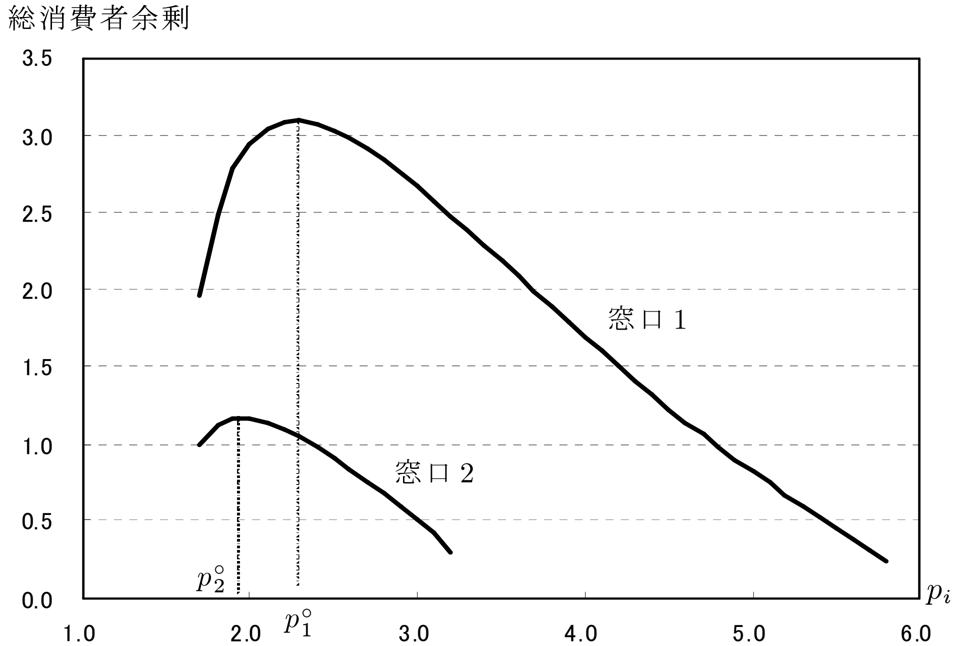


v_1が区間$[0.0, 7.5]$，v_2が区間$[0.0, 5.0]$上で一様分布．$\sigma_1 = \sigma_2 = 2.5$，$d_1 = 1.0$，$d_2 = 0.75$の計算事例を示す．

図 4.4　運賃と社会的厚生の関係（プーリング市場）

ング市場の最適プライスキャップ規制値は$(p_1^{**}, p_2^{**}) = (3.43, 1.41)$となる．この時，プーリング市場の社会的厚生は$SS^{PE} = 3.78$となる．一方，**図 4.5**は分離市場の窓口$i$ $(i = 1, 2)$におけるプライスキャップ規制値p_iと社会的厚生の関係を示している．分離市場では**図 4.5**に示すように窓口 1 で$p_1^{\circ} = 2.28$，窓口 2 で$p_2^{\circ} = 1.95$となる．分離市場の社会的厚生は$SS^{SE} = 4.26$となり，本ケースの場合には市場分離政策により社会的厚生を増加させることが可能となる．最適プライスキャップ規制の下で，各窓口の客の平均待ち時間は$(T_1(\lambda_1^{\circ}, \mu_1^{\circ}), T_2(\lambda_2^{\circ}, \mu_2^{\circ})) = (0.91, 0.89)$となる．分離市場政策を客の選択行動と誘因整合的にするためには，条件$\hat{p}_1 > 2.31, \hat{p}_2 > 1.92$を満足するようなペナルティ運賃を設計し，客の窓口選択行動を誘導する必要がある．

つぎに，市場環境と市場差別化政策の経済効果の間の関係を分析する．**図 4.6**はタクシーの走行費用を$(d_1, d_2) = (d + 0.25, d)$として$d$を変化させたときに最適運賃規制下におけるプーリング均衡，分離均衡で達成される社会的厚生がどのように変化するかを分析した結果である．本ケースの場合，タイプ 1 のタクシーの走行費用の方がタイプ 2 のタクシーより大きくなるため，市場はタイプ 2 のタクシーで常に占拠されることになる．タクシーの走行費用dが大きくなればタイプ 2 のタクシーがタイプ 1 の客とマッチングしたときの走行費用が大きくなるため，プーリング市場ではミスマッチングの不経済の影響が大きくなる．一方，分離市場ではミスマッチングの不経済は存在しないが市場薄の不経済が働く．**図 4.6**では$d \geq 0.43$の場

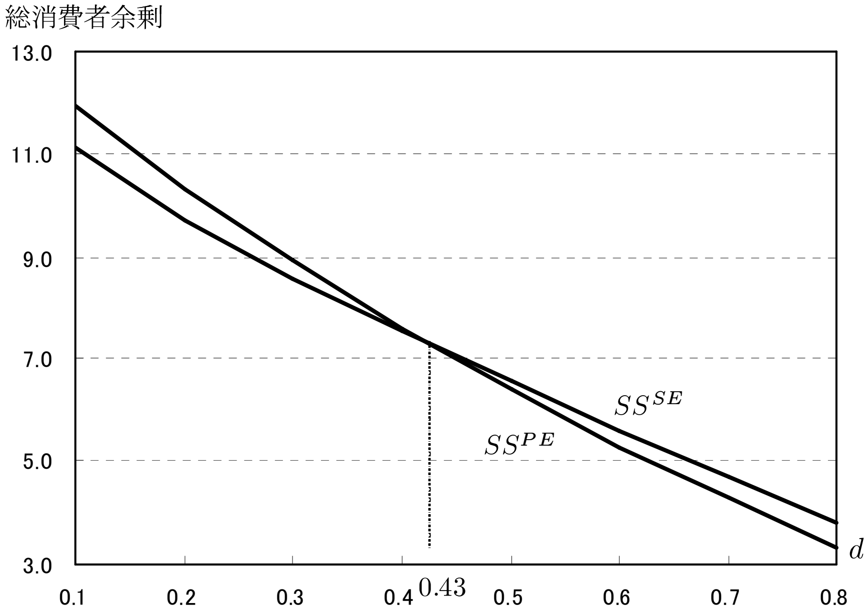


v_1が区間 $[0.0, 7.5]$，v_2が区間 $[0.0, 5.0]$ 上で一様分布．$\sigma_1 = \sigma_2 = 2.5$，$d_1 = 1.0$，$d_2 = 0.75$ の計算事例を示す．

図 4.5　運賃と社会的厚生の関係（分離市場）

合，ミスマッチングの不経済が卓越するために分離市場の方が社会的厚生が大きくなる．しかし，$d < 0.43$ の場合は，市場厚の経済性の効果がミスマッチングの不経済の効果を卓越するため，プーリング市場が好ましい取引形式となる．**図 4.7** はタイプ i $(i = 1, 2)$ の客の発生密度を$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$とし，$\sigma$と最適運賃規制下の市場均衡における社会的厚生の関係を分析した結果を示す．客の発生密度が大きくなれば市場を訪問する客は増加する．そのため，分離市場での市場薄の不経済の影響が小さくなり，ミスマッチングの不経済の効果が反映されやすくなる．**図 4.7** では$\sigma \geq 2.26$ のときミスマッチングの不経済を低減する分離市場が最適な市場構造となる．

図 4.8 は客の総発生密度$\sigma_1 + \sigma_2$を 4.5 に固定し，客のタイプ別の構成比を変化させた場合に２つの市場の社会的厚生がどのように変化するかを分析した結果を表している．横軸にはタイプ１の発生密度が総発生密度度に示す割合$\zeta = \sigma_1/(\sigma + \sigma_2)$ を示している．同図では，$0.50 \leq \zeta \leq 0.68$ の範囲で分離市場が最適な市場構造になるが，それ以外ではプーリング市場が最適な市場構造となる．ζが大きくなれば，遠距離客が多くなるためタクシーの期待粗利潤は大きくなる．その結果，より多くのタクシーが到着するようになり社会的厚生は増加する．しかし，プーリング市場では$0.50 \leq \zeta \leq 0.68$ の範囲でタイプ１とタイプ２の客が混在するためタクシーの平均走行費用が増加するというミスマッチングの不経済の影響が大きくなり，市場差別化政策が有効となる．また，分離市場では$\zeta < 0.18$ の場合，タイプ１の客の到着率が少なく，市場薄の不経済の影響が卓越し，タイプ１の窓口市場が成立しない．逆に，$\zeta > 0.72$ の場合は，タイプ２の



v_1が区間 $[0.0, 7.5]$，v_2が区間 $[0.0, 5.0]$ 上で一様分布．$\sigma_1 = \sigma_2 = 2.5$，$d_1 = d + 0.25$，$d_2 = d$としたときの$d$と社会的厚生の関係を示す．

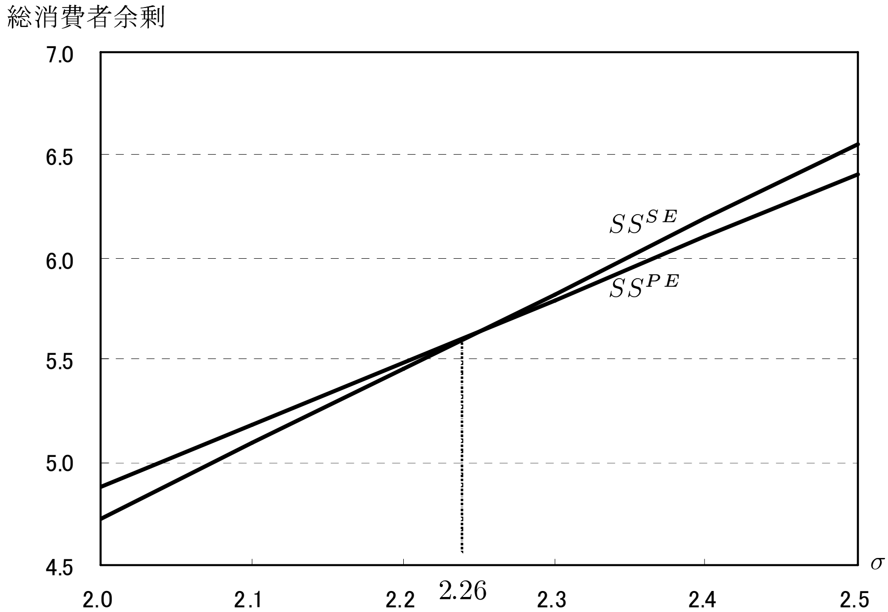
図 4.6　タクシーの走行費用と最適規制政策

窓口市場が成立しない．プーリング市場では客の総数が一定であるため，任意のζに対して市場が成立している．

4.10.3　政策的含意

前項で示したように，スポット市場には市場厚の経済とミスマッチングの不経済という２つの外部性が存在するため望ましい市場の形態は一意的には決まらない．市場差別化が有効であるか否かは市場の環境に依存する．このため，交通管理者は市場差別化政策を導入する場合，市場厚の経済性とミスマッチングの不経済の双方を考慮に入れた慎重な検討が必要となる．数値計算事例ではタクシー需要が大きい市場やタクシーの走行費用の大きい市場では分離市場の方が社会的厚生水準が大きくなるという結果が得られている．限られた数値計算事例から一般的な結論を導くことはできないが，以上の数値計算の結果は，空港等のように走行距離が大きくタクシー需要も多いスポット市場では方面別のタクシー乗り場の設置を検討することの重要性を示唆している．

本章で得られた知見は１）タクシーと客が先着順にマッチングされる，２）各タイプのタクシーの到着率に制約がないという仮定に依存している．例えば，流しのタクシー市場，迎車配送市場では，客は自分が希望するタクシーの到着を待つための待ち時間を負担する必要があるが，タクシーのタイプを選択できるため，タクシー間で価格競争のメカニズムが働く．しかし，先着順にタクシーと客のマッチングが行われる場合，客がタクシーを自由に選択することはできない．その結果，他のタクシーより高い運賃を設定し



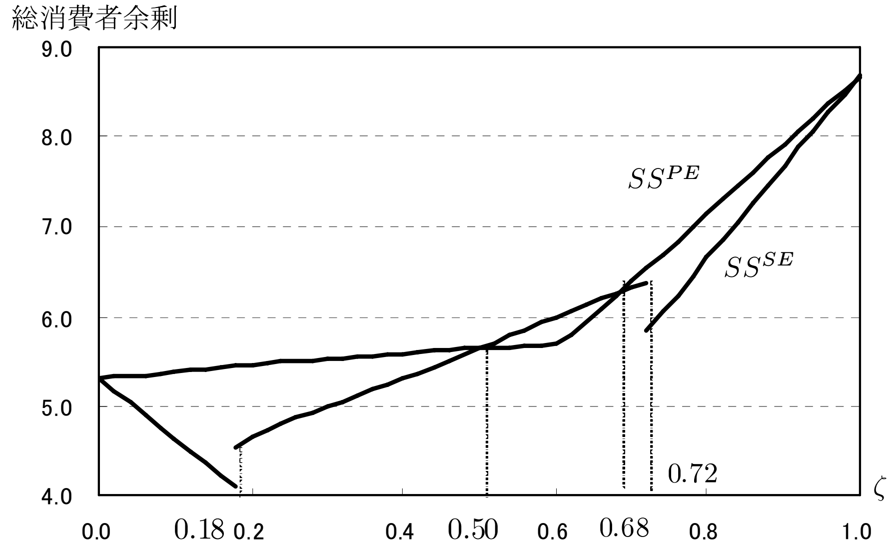
v_1が区間 [0.0, 7.5]，v_2が区間 [0.0, 5.0] 上で一様分布．$d_1 = 0.75$，$d_2 = 0.5$，$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$としたときの$\sigma$と社会的厚生の関係を示す．

図 4.7　客の発生密度と最適規制政策

たタクシーも客と取引を成立させることができる．このため，長期的にはタクシーに運賃を値上げしようとする誘因が働く．タクシーの運賃が高い値に固定された場合，タクシーの市場参入が進展し，タクシーは非常に長い待ち時間を要して客待ちをせざるを得なくなる．その結果，高い運賃のタクシーの到着率に上限が存在しなければ，長期的にはスポット市場が運賃が高いタクシーに占拠され，運賃の安いタクシーは市場から締め出されてしまう．運賃が安いタクシーはスポット市場への参入をあきらめ，市場外部で客待ちをするだろう．その結果，スポット市場周辺での交通混雑という新たな不経済が発生することになる．スポット市場周辺における混雑緩和という視点に立てば，待ち行列は効率的なマッチング形態である．しかし，スポット市場では価格競争が十分に機能しないため運賃規制が必要となる．スポット市場における取引形態として待ち行列方式を採用する場合，たとえば多くの欧米の空港で採用されているように特定地域への固定運賃制の導入が効果的な場合も存在しうる．このような運賃再規制問題に関しては，本章のような部分均衡論モデルだけでなく，今後タクシー市場全体を対象とした一般均衡モデルを開発するなど多方面から分析する必要がある．

4.11　結言

本章では，不特定多数の客とタクシーサービスが互いにマッチングされることによりサービスの売買の契約が成立するようなタクシーサービスのスポット市場では，市場取引に伴う外部経済性がスポット市場の構造を決定することを指摘した．また，客とタクシーの双方が互いに相手の供給増加，需要増加を予想



v_1が区間 [0.0, 7.5]，v_2が区間 [0.0, 5.0] 上で一様分布．$d_1 = 0.75$，$d_2 = 0.5$，$\sigma_1 + \sigma_2 = 4.5$, $\zeta = \frac{\sigma_1}{\sigma_1+\sigma_2}$としたときの$\zeta$と社会的厚生の関係を示す．

図 4.8　客の構成比と最適規制政策

すれば，市場を通じた金銭的外部性を通じて実際に双方の需要・供給が増加するメカニズムについて分析した．タクシーサービスのスポット市場では，このような外部経済性が存在するために複数均衡解が生じる可能性がある．さらに，スポット市場における駐車容量の増加が待ち行列長の増大による混雑現象を生起し，逆に客やタクシーの到着率の減少を招くことがありうることも明らかにした．このことは，スポット市場におけるタクシーの駐車規制が市場均衡の効率性を増加させる場合がありうることを示唆している．

また，市場厚の経済性とミスマッチングの不経済を同時に考慮したスポット市場均衡モデルを定式化した．その上で，異質なタクシーと客が混在するプーリング市場，タクシーや客のタイプにより窓口が差別化された分離市場を対象として，市場均衡のメカニズムや市場差別化政策が社会的厚生に及ぼす影響を分析した．本章における理論的知見として，１）プーリング均衡では特定のタイプのタクシーに市場が占拠される．２）市場差別化政策はタクシーの行動とは誘因整合的である．３）客の行動とは非整合的であり，運賃規制を導入する必要がある．４）市場厚の経済とミスマッチングの不経済が同時に機能するため，市場差別化政策の導入にあたっては慎重な検討が必要となることが判明した．

今後，現実的な市場差別化政策を考えていくうえでは，いくつかの課題が残されている．第１に，本章ではそれぞれのタイプのタクシーの到着率に制約がない場合を想定していた．現実には利用可能なタクシー台数に制限がある場合がある．この場合，プーリング均衡においても複数のタイプのタクシーが併存する可能性がある．第２に，客の異質性が増加し，窓口数よりも客のタイプの方が多い場合，最適なマッチングパターンを求める必要がある．第３に，議論を単純化するために，客のタイプ別の固定運賃を想定していた．客の多様性が増加すれば，固定運賃と可変運賃で構成されるような最適非線形運賃体系に関する議

論が必要となろう．以上の要求を考慮したような理論的な市場均衡モデルを開発することは不可能であり，現実的な問題解決のためには実用的なシミュレーションモデルを開発することが必要となる．最後に，空間上に設置された１つのスポット市場におけるタクシーと客のサービス取引に関する部分均衡モデルを開発した．運賃規制，再規制政策の有用性を検討するためには，都市におけるタクシーサービス市場全体を考慮した一般均衡モデルを開発する必要がある．

付録4.I　平均待ち時間の算出

客の平均待ち時間 $T(\lambda,\mu,M)$ は, $T(\lambda,\mu,M)=\int_0^\infty R(t)dt$ で表される．ここに，$R_p(t)$ は新たに行列が並んだ人の待ち時間が t 以上になる確率である．タクシーが待ち行列を形成している場合，待ち時間は 0 となる．客が待ち行列を形成している場合，先頭の客は到着率 μ でポワソン到着するタクシーを待つ．客が到着した時，客もタクシーも系にいない確率を $P_0=Q_0$ とすれば，

$$R_p(t)=\sum_{k=0}^{\infty}P_k\sum_{r=0}^{k}e^{-\mu t}\frac{(\mu t)^r}{r!}=e^{-\mu t}(1-\rho)\rho^M\sum_{k=0}^{\infty}\rho^k\sum_{r=0}^{k}\frac{(\mu t)^r}{r!}=e^{-\mu t}(1-\rho)\rho^M\sum_{r=0}^{\infty}\frac{(\mu t)^r}{r!}\sum_{k=r}^{\infty}\rho^k$$
$$=e^{-\mu t}(1-\rho)\rho^M\sum_{r=0}^{\infty}\frac{(\mu t)^r}{r!}\frac{\rho^r}{1-\rho}=e^{-\mu t}\rho^M\sum_{r=0}^{\infty}\frac{(\mu t)^r\rho^r}{r!}=\rho^M e^{-(1-\rho)\mu t}$$

が成立する。したがって，平均待ち時間は

$$T(\lambda,\mu,M)=\int_0^\infty R_p(t)dt=\frac{\rho^M}{(1-\rho)\mu}=E(n:\lambda,\mu,M)/\lambda$$

となる．一方，新たに並んだタクシーの待ち時間が t 以上になる確率 $R_T(t)$ は

$$R_T(t)=\sum_{k=0}^{M-1}Q_k\sum_{r=0}^{k}e^{-\lambda t}\frac{(\lambda t)^r}{r!}=e^{-\lambda t}(1-\rho)\rho^M\sum_{k=0}^{M-1}\rho^{-k}\sum_{r=0}^{k}\frac{(\lambda t)^r}{r!}$$
$$=e^{-\lambda t}(1-\rho)\rho^M\sum_{r=0}^{M-1}\frac{(\lambda t)^r}{r!}\sum_{k=r}^{M-1}\rho^{-k}=e^{-\lambda t}(1-\rho)\rho^M\sum_{r=0}^{M-1}\frac{(\lambda t)^r}{r!}\frac{\rho^{-(M-1)}(1-\rho^{M-r})}{1-\rho}$$
$$=e^{-\lambda t}\rho\sum_{r=0}^{M-1}\frac{(\lambda t)^r}{r!}\left\{1-\frac{\rho^M}{\rho^r}\right\}$$

と表される．したがって，平均待ち時間は

$$S(\lambda,\mu,M)=\int_0^\infty e^{-\lambda t}\rho\sum_{r=0}^{M-1}\frac{(\lambda t)^r}{r!}\left\{1-\frac{\rho^M}{\rho^r}\right\}dt=\rho\sum_{r=0}^{M-1}\left\{1-\frac{\rho^M}{\rho^r}\right\}\int_0^\infty e^{-\lambda t}\frac{(\lambda t)^r}{r!}dt$$
$$=\rho\sum_{r=0}^{M-1}\left\{1-\frac{\rho^M}{\rho^r}\right\}\frac{\lambda^r\Gamma(r+1)}{r!\lambda^{r+1}}=\frac{\rho}{\lambda}\sum_{r=0}^{M-1}\left\{1-\frac{\rho^M}{\rho^r}\right\}$$
$$=\frac{\rho}{\lambda}\left\{M-\frac{\rho(1-\rho^M)}{1-\rho}\right\}=\frac{1}{\mu}E(m:\lambda,\mu)$$

ただし，$\Gamma(m+1)=m!$はガンマ関数である．タクシーの長さが$m-1$の時，新たに到着したm番目のタクシーの待ち時間がt以上になる確率$R_T(t:m)$は

$$R_T(t:m)=\sum_{r=0}^{m-1}e^{-\lambda t}\frac{(\lambda t)^m}{m!}$$

となる．平均待ち時間$W(m)$は

$$W(m)=\int_0^\infty\sum_{r=0}^{m-1}e^{-\lambda t}\frac{(\lambda t)^r}{r!}dt=\sum_{r=0}^{m-1}\int_0^\infty\frac{\lambda^{r+1}\Gamma(r)}{r!\lambda^{r+1}}=\sum_{r=0}^{m-1}\frac{1}{\lambda}=\frac{m}{\lambda}$$

付録4.II　市場均衡解の特性

A) $\bar{v}<\infty$の場合

1) $W=0$の場合　$\Gamma'(\lambda,0)=\sigma f(x)>0$．ただし，$\Gamma'(\lambda,0)=\partial\Gamma(\lambda,0)/\partial\lambda$，$x=\rho^\circ/\{\lambda(1-\rho^\circ)\}$，$f(x)=dF(x)/dx$である．$\Gamma(\lambda,0)$は$\lambda$に関して単調増加関数であり，$\lim_{\lambda\to\infty}\Gamma'=+0$．したがって，$\lambda=\Gamma(\lambda,0)$が条件(4.45)を満足する$\lambda=0$以外の解を少なくとも1つ持つとすると，$\lambda=\Gamma(\lambda,0)$は少なくとも1回45度線$y=\lambda$を上方から交差する．ゆえに，安定均衡解$\lambda>0$が少なくとも1つ存在する．なお，$\Gamma''(\lambda)=-\sigma f'(x)\frac{\rho^\circ}{\lambda^2(1-\rho^\circ)}$．一様分布の場合$f'=0$であり$\Gamma''(\lambda,0)<0$．ゆえに，安定解1個を持つ．一方，$0=\Gamma(0,0)$が成立し，$\rho p-d=-d<0$となり$\mu=0$が成立．$\mu$が微小に$\varepsilon>0$増加しても$\rho p-d<0$が成立し$\mu=0$に収束する．$0\leq\lambda\leq\underline{\lambda}$を満たす任意の$\lambda$に対して$\Gamma(\lambda,0)=0$が成立し，$\lambda$が微小に$\lambda=0$よりかい離しても$\lambda=0$に向かって収束する．よって$(\lambda,\mu)=(0,0)$は安定均衡解である．

2) $W\geq1$の場合　式(4.35b)は代数方程式$\rho^W+\cdots+\rho+\lambda p-\mu d-W=0$と書き直すことができる．ここで，代数方程式$\rho^W+\cdots\rho=\omega$を考える．ただし，$\omega=-\lambda p+\mu d+W$である．$W\geq\rho^W+\cdots+\rho\geq0$は$\rho$に関する連続増加関数であり$\rho=0$の時に0を，$\rho=1$の時に$W$をとる．ゆえに，任意の$W>\omega>0$に対して$1>\rho>0$を満足するような代数方程式の解$\rho^\circ$が存在する．いま，任意の$\lambda>0$に対して$\mu=\lambda/\rho$を用いて$\omega=\lambda(d/\rho-p)+W$を定義しよう．$\rho p-d>0$より$W>\omega=\lambda(d/\rho-p)+W>0$を満足する．不動点定理より$\rho^W+\cdots\rho=\lambda(d/\rho-p)+W$を満足するような$1>\rho>0$が存在する．したがって，式(4.35b)及び$1>\rho>0$が成立するような$\mu^*(\lambda)$が存在する．$W=0$の場合と同様に$\lambda=\Gamma(\lambda,\mu^*(\lambda),W)$が少なくとも1回45度線$y=\lambda$を上方から交差すれば，少なくとも1個安定均衡解$\lambda>0$を持つ．

B) $\bar{v}=\infty$の場合

$0=\Gamma(0,0)$が成立．$\lim_{\lambda\to0}x=\infty$である．また，仮定$f(\infty)=0$より$\lim_{\lambda\to+0}\Gamma'(\lambda,0)=0$が成立．$\Gamma(\lambda,0)$は$\lambda\to0$の極限において下側から$y=\lambda$を交差する．したがって，$(\lambda,\mu^*(\lambda))$は安定均衡解である．$W\geq1$の場合にも同様の議論が成立する．

参考文献

1) 松島格也，小林潔司: タクシーサービスのスポット市場均衡に関する研究, 土木計画学研究・論文集, No.16, pp.591-600, 1999.
2) Matsushima, K. and K. Kobayashi: Endogenous Market Formation with Matching Externality, in Kobayashi *et al.* eds, *Structural Change in Transportation and Communications in the Knowledge Economy: Implications for Theory, Modeling and Data*, Edward Elgar, 2003.
3) 松島格也，小林潔司，坂口潤一：タクシースポット市場の差別化と社会的厚生，土木学会論文集，No.723/IV-58, pp.41-53, 2003.
4) Teal, R. F. and M. Berglund: The Impacts of Taxicab Deregulation in the USA, *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 21, pp. 37-56, 1987.
5) Häckner, J. and S. Nyberg: Deregulating Taxi Services: A Word of Caution, *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. XXIX, No. 2, pp. 195-207, 1995.
6) 土井健司, 吉田忠司，水野高幸: 特殊な競争環境下のタクシー市場における利用者の選択可能性と評価に関する分析，土木計画学研究・論文集，No.14, pp.747-756, 1997.
7) 柳沢吉保，堂柿栄輔: 都心部タクシーベイの利用実態に関する研究，土木計画学研究・講演集，No. 19(2), pp. 541-544, 1996.
8) Orr, D.: The 'Taxicab Problem': A Proposed Solution, *Journal of Political Economy*, Vol. 77, pp.141-147, 1969.
9) Douglas, G.W.: Price Regulation and Optimal Service Standard: The Taxicab Industry, *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 6, pp.116-127, 1972.
10) DeVany, A. S.: Capacity Utilization under Alternative Regulatory Constraint: An Analysis of Taxi Markets, *Journal of Political Economy*, Vol. 83, pp.83-94, 1975.
11) Schreiber, C.: The Economic Reasons for Price and Entry Regulation of Taxicabs, *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 11, pp. 298-304, 1977.
12) Willams, D. J. : The Economic Reasons for Price and Entry Regulation of Taxicabs, A Comment, *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 14, pp. 81-83, 1981.
13) 松島格也,小林潔司,坂口潤一: 混雑費用を考慮したタクシースポット市場の内生的形成, 第35回都市計画学会論文集, pp.547-552, 2000.
14) 松島格也,小林潔司,坂口潤一: タクシー・スポット市場の空間的均衡と社会的便益, 土木計画学研究・論文集, No.18, pp.681-689, 2001.
15) 山内弘隆: タクシー産業における規制政策, 日本交通政策研究会 日交研シリーズ A-119-3-II, 1988.
16) 橋部佳紀: タクシー産業の規制緩和について, 日本交通政策研究会 日交研シリーズ A-279, 2000.

17) Gärling, T., T. Laitila, A. Marell and K. Westin: A Note on the Short-term Effects of Deregulation of the Swedish Taxi-cab Industry, *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 20, pp. 209-214, 1995.

18) Howitt, P. W.: *The Keynesian Recovery*, Prentice Hall, 1990.

19) Howitt, P. W. and R.P. McAfee: Costly Search and Recruiting, *International Economic Review*, Vol. 28, pp. 89-107, 1987.

20) 小林潔司，福山敬，松島格也: フェイス・ツゥ・フェイスのコミュニケーション過程に関する理論的研究，土木学会論文集，No.590/IV-39, pp. 11-22, 1998.

21) Farmer, R. E. A.: *The Macroeconomics of Self-Fulfilling Prophecies,* The MIT Press, 1993.

22) Bulow, J. I., J.D. Geanakoplos and P.D. Klemperer: Multimarket oligopoly: Strategic Substitutes and Complements, *Journal of Political Economy*, vol. 93, pp. 488-511, 1985.

23) Cooper, R. and J. Andrew: Coordinating Coordination Failures in Keynesian Models, *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 103, pp. 441-463, 1988.

24) Kendall, D. G.: Some Problems in the Theory of Queues, *Journal of the Royal Statistical Society*, Vol. XIII, p. 151-185, 1951.

25) Sasieni, M.W.: Double Queues and Impatient Customers with an Application to Inventory Theory, *Operations Research*, pp. 771-781, 1961.

26) 堂柿栄輔, 柳沢吉保: 時間帯を考慮したタクシーの客待ち街路周遊交通量の推定, 土木計画学研究・講演集, No.21(2), pp. 285-288, 1998.

5　手段補完性を考慮した公共交通市場の分析 -バス交通市場を対象として-

5.1　緒言

前章においては交通サービスを消費する単一の個人（需要側）と交通サービスを供給する企業（供給側）とのマッチングをとりあげ，交通サービスが提供される市場が内生的に形成されるメカニズムを分析した．交通サービスを消費する個人の数がさらに増えると，個別の需要に対して１対１で供給側のサービスを割り当てるよりも，複数の交通サービス消費に対する需要をまとめてサービスを提供する方がより効率的になる．本章では，公共交通市場を対象としてその市場メカニズムに関する分析する．具体的には，バスサービス市場を取り上げて交通手段選択における往路と復路のマッチングに着目した均衡モデルを構築する．

家計のバス利用行動には，１）往路にバスを利用すれば，復路においても（他に交通手段がなければ）バスを利用せざるを得ない，２）バスを利用するために待ち時間が発生するが，往路・復路のいずれか一方の待ち時間が長くなれば，双方のバス利用そのものを諦めるという特性がある[1)]．すなわち，家計は個々のトリップだけでなく，トリップチェイン全体を考え手段選択を行う．このような特性はバストリップだけでなく，他の交通手段にも存在する．しかし，家計はトリップチェイン全体の効用だけでなく，待ち時間という個々のトリップの（不）効用も判断し，交通手段を選択する．このようなバス利用構造の特性が，バスサービスの市場構造に多大な影響を及ぼしている．

本章では，家計のバス利用行動の特性を，往路と復路の一方のトリップの手段選択の結果がもう一方の手段選択に影響を及ぼすという技術的外部性，およびトリップ間での（不）効用の不完全代替性が原因となって生じる手段補完性として概念化を試みる．家計のバス選択行動における手段補完性が原因となって，**5.2** で考察するように，バスの運行本数とバス需要の間に（負の）ポジティブフィードバックが働くことになる．バス市場を維持・活性化するためには，ポジティブフィードバックの原因となっている手段的補完性の発生メカニズムを是正することが必要である．

以上のような問題意識のもとに，本章では家計のバス利用行動における手段補完性を明示的に考慮したようなバス市場均衡モデルを定式化し，バス市場構造の特性を分析する．さらに，バス市場の維持・活性化戦略の導入が，バス市場の効率性，社会的厚生に及ぼす影響を分析する．以下，**5.2** では従来の研究概要をとりまとめる．**5.3** ではバス市場における手段補完性について説明する，**5.4** では市場均衡モデルを定式化する．**5.5** では市場構造の特性の分析と均衡モデルの拡張を試みる．**5.6** では，バス市場の維持・活性化戦略の導入が社会的厚生に及ぼす影響を分析する．

5.2　従来の研究概要

従来より，バスの運行系統やダイヤ設定等，バスの運用計画に関する研究は数多い．わが国でも，バスダイヤの設定を含めたバス系統の最適設計を目的とした数理計画モデルが提案されている[3),4)]．さらに，アンケート調査等により，バスの運行頻度が家計のバス利用意識に及ぼす影響を分析した研究事例[5),6)]も数

多い．さらに，中川等[7]は運行時刻の不確実性が交通行動に及ぼす影響を分析している．また，渡辺[8]は運賃の上昇とバス利用者数の減少との関係を実証的に分析している．高山等[9]はバスダイヤを考慮したバス路線網を遺伝的アルゴリズムで設計する方法を提案している．しかし，これらの研究は，バス企業の行動とバス需要の相互関係を分析するという均衡論的な分析枠組みを持っていない．一方，近年のバス市場の規制緩和を背景として，バス市場均衡に関する分析事例[10)−13)]が増えてきた．中でも，規制緩和後のバス市場均衡に焦点を置いて，市場均衡の効率性や需要のコーディネイション[12]に関する研究が進展している．わが国おいても，柳沢等[14]は運行サービス水準と社会的便益の関係を分析している．また，小林等[15]は過疎地域のバス市場を対象とした公共交通サービスの維持方策の効果を分析している．さらに，わが国における規制緩和後のバス市場の構造変化に関する理論的・実証的研究が精力的に実施されている[16]．しかし，これらの市場均衡モデルはバス市場における規模の経済性を考慮しておらず，バス市場におけるポジティブフィードバックを分析するという目的意識を持っていない．

バス交通と自動車利用の間の競争関係の間に働くポジティブフィードバックに着目し，バス利用率に関する複数均衡解を分析した先駆的研究としてKitamura *et al.*[17]がある．そこでは，バス市場に働く外部性として道路混雑，固定費用，待ち時間の３つの要因をとりあげている．さらに，家計の同質性を仮定して，バスサービス市場に働くポジティブフィードバックを説明しているが，規模の経済性の原因となる外部性として固定費用と待ち時間をとりあげている．しかし，バスの利用客の限界的な増加が待ち時間の限界的な減少をもたらすという規模の経済性が働くためには，利用客数が常にバス容量に到達するようなダイヤを設定できるという特殊な仮定が必要となる．しかし，利用者のバス離れによる負のポジティブフィードバック現象を説明する上で，バス需要が希薄な市場においても利用客がバス容量に到達するという想定は現実的ではない．これに対して本章では，バス市場に存在する負のポジティブフィードバックが，家計の経路選択行動における手段補完性に起因して生じる規模の経済性に依存することを明らかにする．その上で，バス企業のダイヤ設定行動を明示的に考慮した市場均衡モデルを定式化するとともに，バス市場均衡の複数性について考察する．

5.3　手段補完性とバス市場

5.3.1　バス市場の構造と外部経済性

一般に，市場に外部経済が存在する場合，資源配分の非効率性が発生し，政府による市場介入が必要となる．さらに，外部経済性が規模の経済性の原因となる場合，市場に複数の安定均衡解が存在する可能性がある．バス市場に介在する外部経済性として，１）道路混雑，２）固定費用，３）待ち時間，４）手段補完性等がある．道路混雑は道路の利用技術に起因して生じる技術的外部性[18]である．道路利用者が増加すれば，走行時間が増加するという外部不経済が発生するが，規模の経済性は存在しない．道路利用者が増加すれば，バスの運行速度だけでなく，自動車の走行速度も低下する．このため道路混雑は，ポジティブフィードバックの原因にはならないが，市場均衡の効率性に影響を及ぼす．バス企業の経営には固定費用が存在する．バスサービスの可変費用が一定であれば，バスの利用者の増加により利用者１人当たりが

表 5.1 バス市場と外部経済性

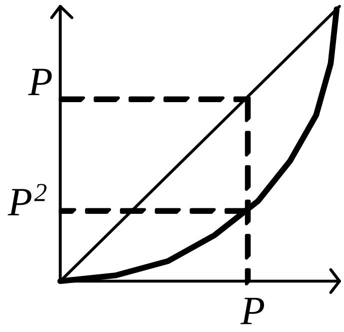
外部性の種類	規模の経済性	タイプ	主体
道路混雑	無	技術的	家計
固定費用	有	技術的	バス企業
待ち時間	無	金銭的	家計
手段補完性	有	技術的	家計

負担する固定費用は減少する．固定費用はバス企業の経営技術に関わる技術的外部性であるが，経営の合理化を通じて削減が可能であり，固定費用による規模の経済性はそれほど大きくない．また，固定費用に対して補助金を支出すれば，固定費用の存在による規模の経済性は解消する．

バス市場では，時間軸上の限られた時点でサービスが提供されるため，バス利用者に待ち時間という取引費用が発生する．バス利用者が増加し運行本数が増加すればサービスの取引費用（待ち時間）が減少し，サービスの市場取引が効率化される．取引費用の減少という外部経済性は，バス利用客の増加とバス企業のダイヤ設定行動の相互作用を通じてバス市場に生じる金銭的外部経済性である．バス企業は利潤最大化行動を通じて金銭的外部経済性[18)]を内部化することが可能である．バス容量に余裕が存在する状況においてはバス利用者の増加が直ちに待ち時間の減少をもたらすという規模の経済性は存在しない．最後に，バス市場には往路，復路トリップにおける交通手段の選択が，いま一方のトリップにおける手段選択に影響を及ぼすという技術的外部性が存在する．すなわち，往路，あるいは復路におけるバスの利用可能性が増加すると，もう一方のトリップにおけるバスの利用可能性も増加するという戦略的補完性[19)−22)]が存在する．本章ではこのような手段選択における戦略的補完性により生じる規模の経済性を手段補完性と呼ぶ．

5.3.2 手段補完性と規模の経済性

手段補完性がもたらす規模の経済性を説明するために，目的地まで同一区間を往復する家計を考えよう．簡単のために，交通手段としてバス，自家用車のみが利用可能であるとする．往路にバスを利用すれば，復路でもバスを利用せざるを得ない．自家用車に関しても同様である．往路でバス利用を考えている家計でも，復路にバス利用が不可能であればバス利用を往復とも諦める．家計は往路と復路の双方における交通手段の利用可能性を考慮に入れて，トリップチェイン全体の交通手段を選択する．このように家計の交通行動には，往路と復路のいずれかのトリップにおける手段選択に関する制約が，いま一方のトリップの手段選択に制約条件として機能するという技術外部性（以下，手段的技術外部性と呼ぶ）が存在する．また，家計がバスを利用する場合，バスの到着を待つための待ち時間という取引費用が発生する．この場合，家計はトリップチェインにおける総待ち時間だけに着目して，トリップチェインにおける手段選択を行うわけではない．往路と復路の内，いずれか一方の待ち時間が長くなれば，いま一方の待ち時間の長短に関わらず，バス利用を諦める．待ち時間に対する不効用はそれぞれのトリップにおける待ち時間に対して定義される．このように往路と復路の待ち時間は，相互に完全代替的ではなく不完全に代替可能である．この



家計が往路あるいは復路にバスを利用してもいいと考える確率をともにPとしよう．さらに，往路と復路の待ち時間に対する不効用が非代替的であり，往路と復路の確率Pが互いに独立であると仮定する．この時，手段的技術外部性により，家計がバスを利用するのは往路と復路の双方でバスを利用することを希望する場合となり，バス利用確率は$P \times P = P^2$と表される．他のことを一定にすれば，バスの利用確率P^2は常に確率Pより小さく，手段補完性の存在によりバスの利用確率は減少する．

図 5. 1　手段補完性と規模の経済性

ような待ち時間（取引費用）に対する不効用の性質を，不完全代替性と呼ぶ．

家計の交通行動には，上述のように手段的技術外部性と不完全代替性が存在する．そのため，往路と復路の内，いずれか一方のトリップにおいてバスの待ち時間が長くなれば，そのトリップにおけるバス利用がとりやめるだけでなく，いま一方のトリップにおけるバス利用もとりやめられる．このような往路と復路におけるバス利用の相互関係は**図 5.1** に示すようにモデル化できる．同図に示すように，往路と復路のバス利用確率Pが独立であれば，往路・復路を通じたバスの利用確率はP^2と表される．このようにバス利用トリップには，一方のトリップにおけるバス選択確率の増加（減少）が，いま一方のトリップにおける選択確率の増加（減少）をもたらすという戦略的補完性[20]が存在する．自家用車には取引費用が存在しないため戦略的補完性は存在しない．本章では，前述したように家計のバス選択行動に機能する戦略的補完性を手段補完性と呼ぶ．個人のバス選択行動に手段補完性が存在する場合，バス企業によるバス運行本数の増加（減少）は，往路・復路における利用者数を同時に増加させ，バス企業の採算性を通じて運行本数の増加（減少）に繋がるというポジティブフィードバック[21),22]が発生する．

5.3.3　交通手段の代替化施策

バス市場に規模の経済性が存在する場合，市場には複数の安定均衡解が存在する可能性がある．複雑性の経済学[23]に関する文献では，市場が歴史的経緯により一度効率性の悪い均衡解に到達すれば，その状態にロックインされ，そこから抜け出すことが容易でないことが指摘されている．一般に，規模の経済性が存在する市場の均衡解の効率性を是正するために，１）規模の経済性の結果として生じる均衡解の選択を是正する（より効率性の大きい均衡解に推移する）方策，２）外部性の存在による資源配分の非効率性を是正する方策が検討される．しかし，バス市場が独占企業により運営されている場合，仮に複数均衡解が存在し，効率性の悪い市場均衡に到達していても，例えば望ましいバスダイヤを一定期間継続する社会実

験を政策的に実施することにより効率的な均衡解へ移動することが可能である．本章では市場均衡解の非効率性を是正する第３の方策として，ポジティブフィードバックの原因となっている手段補完性そのものを解消することを目的とする交通手段の代替化施策に着目する．当然のことながら，手段補完性（規模の経済性）を解消したとしても，外部経済性が存在するため，資源配分上の非効率性の問題は依然として残っており，資源配分の効率性を補正するための政策介入が必要となる．

交通手段の代替化施策を説明するために，再び，目的地まで往復する家計の行動をとりあげよう．さらに，例えば自動車・自転車の共同利用施策が導入され，往路にバスを利用した場合でも，復路に自動車・自転車を利用することが可能になった場合を考えよう．この時，家計は帰路の手段選択の可能性を考慮に入れずに，自分の効用を最大にするように往路の手段選択を行うことが可能となる．このように，往路と帰路において異なる交通手段が利用可能になるような政策を導入することにより，家計の交通手段選択行動における手段的技術外部性を消滅（もしくは緩和）させることが可能となる．すなわち，**図 5.1** において，一方のトリップにおける手段選択の結果が他方の手段選択に影響を及ぼすというメカニズムが存在しなくなるため，往路と復路のバス利用確率はともに P となる．本章では，このように往路と復路のトリップ選択における手段的技術外部性を解消し，それぞれのトリップにおいて互いに独立して手段選択が可能になるような施策を交通手段の代替化施策と呼ぶこととする．このような交通手段の代替化施策として，カーシェアリング，レンタサイクル等の交通手段の共有化施策，片道定期券制度等，多様な交通施策が考えられる．また，深夜バスの運行等，公共交通の市場を厚くする施策も交通手段の代替化施策と考えることができる．

5.4　基本モデルの定式化

5.4.1　前提条件

家計の交通手段選択行動に手段補完性が存在する場合の市場均衡モデル（基本モデルと呼ぶ）を定式化する．いま，家計の目的地までの往復トリップを考えよう．トリップの手段としてバスと自動車の双方が利用可能であると仮定する．道路を利用する自動車が増加すれば，道路混雑が発生し走行時間は増加する．このように道路混雑は社会的厚生に多大な影響を及ぼすが，道路混雑により自動車，バスの双方の走行時間が同時に増加する．混雑現象は家計のバスと自動車の選択行動に影響を及ぼさないと考える．したがって，議論の見通しをよくするため，家計の効用関数に目的地までの所用時間を明示的にとりあげない．目的地までの所用時間は一定であり，一般化所得の中に一括して計上されていると考える．家計が利用可能な往路と復路の交通手段は互いに手段補完的であり，家計が往路と復路に異なる交通手段を利用する場合，交通費用が禁止的に高くなると考えよう．したがって．家計は往路，復路共に同じ交通手段を用いる．各家計にはそれぞれ自らが希望する往路と復路の希望出発時刻が存在する．家計がバスを利用する場合，希望出発時刻後の最初の出発時刻を持つバスを選択する．希望出発時刻とバスの出発時刻との間に差異が存在する場合，待ち時間による不効用が発生する．一方，自動車を利用する場合には待ち時間は発生しない．モデル分析において家計がバスを利用する可能性を保証するために，自動車を利用した場合の交通費はバ

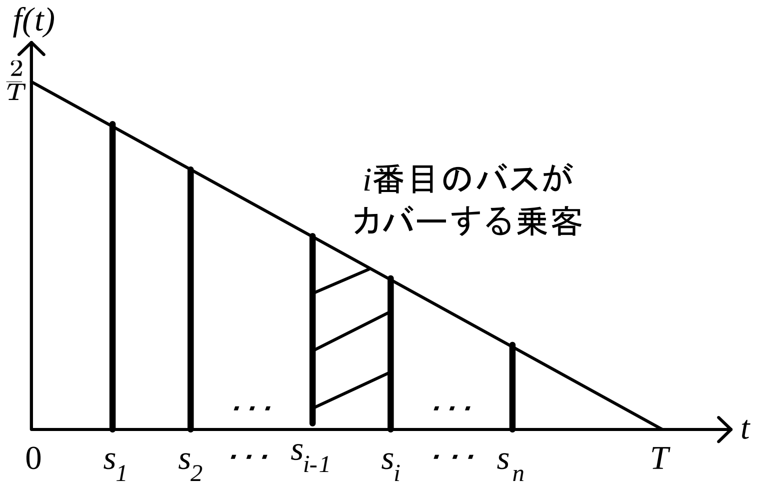


図 5.2　家計の出発時刻分布とバスサービス

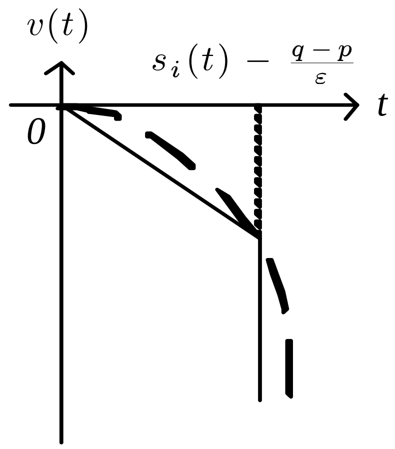
スを利用した場合よりも高くなると仮定する．家計は，往復トリップにバスを利用した場合と自動車を利用した場合の効用を比較して，効用の大きい交通手段を選択する．バス企業は独占企業であり，利潤を最大にするように運賃とバスダイヤを決定する．運賃は時刻を通じて均一料金に設定されている．家計の希望出発時刻の確率分布は，往路と復路に対して対称的であり，バス企業は往路と復路に対して同一の運賃とバスダイヤを設定すると仮定する．また，バスの利用客数は常にバス容量を自動的に満足していると仮定する．もちろん，利用客数がバス容量に到達する可能性を想定したモデルも定式化できるが，以下の議論に本質的な影響を及ぼさない．さらに，手段補完性に基づく規模の経済性に焦点を絞るため，バス企業には固定費用が存在せず，バス運行費用のみが存在すると考える．

5.4.2　家計行動のモデル化

家計の往路と復路トリップの出発時刻の確率分布は外生的に与えられる．バス企業が設定するダイヤは出発時刻の確率分布に影響を及ぼさない．出発時刻の確率分布は社会の制度的条件により決定されており，バス企業が決定する運賃やバスダイヤの影響を受けないと考える．家計はすべて同質であり，同一の効用関数を持つ．仮定より，出勤トリップ，帰宅トリップの出発時刻の確率分布が対称的であり，同じ確率密度関数に従う．**図 5.2** に示すように，もっとも早く出発する家計の希望出発時刻を $t=0$ に規準化し，最も遅い家計の希望出発時刻を $T\ (>0)$ で表そう．家計の出発時刻は確率密度関数

$$f(t) = \begin{cases} \frac{2}{T^2}(T-t) & 0 \le t \le T\text{の時} \\ 0 & \text{それ以外の時} \end{cases} \tag{5.1}$$

に従うと仮定する．同図に示すように，合計 n 本のバスサービスが時間軸上の離散的な時刻 $s_i\ (i=1,\cdots,n)$ に提供されると考える．ただし，$T \ge s_i \ge 0$ が成立する．当面の間，バスダイヤ $\boldsymbol{s}(n)=(s_1,\cdots,s_n)$ と運賃 p を与件と考えよう．いま，往路の希望出発時刻が t_1，復路の希望出発時刻が t_2 である家計が，往復と



部分効用関数 (5.4) は破線で表される部分効用関数を折れ線近似した効用関数と考えることができる．

図 5.3　不完全代替性のモデル化

もバスを利用した場合の間接効用関数を

$$U_{bus}(t_1, t_2 : \boldsymbol{h}) = Y + v(t_1) + v(t_2) - 2p \tag{5.2}$$

と定式化する．ここに，Yは一般化所得，pはバス運賃を表す．家計のトリップ便益は目的地までの所用時間（一定値）とともに一般化所得の中に一括計上されており，効用関数 (5.2) にトリップ便益や所用時間の項は現れない．$\boldsymbol{h}$の戦略ベクトルであり，運賃pとバスダイヤ$\boldsymbol{s}(n)$で構成される．$v(\cdot)$は金銭タームで表現されるトリップに対する部分効用関数であり出発時刻の関数で表される．往路，復路のトリップは対称的であり，同一の効用関数を用いて表現することができる．一方，自動車を利用した場合の効用も一般化所得に関する準線形効用関数

$$U_{car} = Y - 2q \tag{5.3}$$

で表す．ここに，qは自動車を利用した場合の片道費用であり，駐車料金や燃料費等が含まれる．

バスの往路と復路の待ち時間$s_i(t) - t$ $(i = 1, 2)$ は互いに部分的に代替不可能である．このことを表現するために，部分効用関数$v(\cdot)$を，

$$v(t) = \begin{cases} -\xi(t) & -\xi - p \geq -q\text{の時} \\ -\infty & \text{それ以外の時} \end{cases} \tag{5.4}$$

と特定化しよう．ここに，

$$\xi(t) = \varepsilon(s_i(t) - t) \tag{5.5}$$

は金銭タームで表現された待ち時間の不効用である．また，ε (> 0) は時間価値，$s_i(t) = \min\{s_i | s_i \geq t,\ i = 1, \cdots, n\}$ であり，希望出発時刻以降に出発するバスの中でもっとも早く出発するバスの出発時刻を表す．

集合 $\{s_i|s_i \geq t,\ i=1,\cdots,n\}$ が空集合の場合，$s_i(t)=\infty$ と設定する．$s_i - t$ は，第 i 番目のバスの出発時刻と希望出発時刻の間の時間差（待ち時間）を表しており，家計はもっとも待ち時間の少ないバスサービスを利用する．部分効用関数 (5.4) は**図 5.3** に示すように，$\varepsilon(s_i(t)-t)=q-p$ を境に折れ曲がった形をしている．バスの待ち時間による金銭的損失がバスと自動車の費用差を超すようになれば効用は $-\infty$ となる．部分効用関数 (5.4) は，家計が耐えうるバスの待ち時間に上限値が存在し，往路・復路のいずれか一方の待ち時間が閾値を超えれば往路・復路ともバスを利用しないという待ち時間の非代替性を表現している．一方，許容範囲であれば，部分効用関数 $v(t_i)$ $(i=1,2)$ の間に代替性が存在する．このような待ち時間の不完全代替性は，待ち時間が大きくなるにつれ効用が $-\infty$ に発散するような凹関数を用いて表現することができる．部分効用関数 (5.4) はこのような性質を持つ不効用関数を区分線形近似した関数であると解釈できる．式 (5.4) に示すような部分効用関数を用いることにより，もっとも簡単な方法で往路と復路の手段補完性を表現することが可能となる．本章では手段補完性がバス市場構造に及ぼす影響に分析の焦点を絞るため，部分効用関数 (5.4) を用いることとする．

家計はバスと自動車を利用した場合の効用を比較して効用の大きい手段を利用する．すなわち，家計が利用する交通手段 $i^* \in (bus, car)$ は

$$i^* = \arg\max\{U_{bus}(t_1,t_2:\boldsymbol{h}), U_{car}\} \tag{5.6}$$

で表される．ここに，記号 arg は $U_{bus}(t_1,t_2:\boldsymbol{h})$ と U_{car} のうち効用の大きい方の手段（bus か car) を指示している．さらに，表示関数 $\delta(t_1,t_2)$ を

$$\delta(t_1,t_2) = \begin{cases} 1 & U_{bus}(t_1,t_2:\boldsymbol{h}) \geq U_{car} \text{の時} \\ 0 & U_{bus}(t_1,t_2:\boldsymbol{h}) < U_{car} \text{の時} \end{cases} \tag{5.7}$$

と定義しよう．希望出発時刻の組みが (t_1,t_2) の家計がバスを利用する時に 1 を，そうでないときに 0 をとる関数である．また，バスサービスの属性が $\boldsymbol{h}$ であり，かつ希望出発時刻が t_1, t_2 の家計が獲得する効用水準は

$$U^*(t_1,t_2:\boldsymbol{h}) = \max\{U_{bus}(t_1,t_2:\boldsymbol{h}), U_{car}\} \tag{5.8}$$

と表される．つぎに，バスサービスに対する集計的需要関数を導出しよう．家計の往路の希望出発時刻が確率密度関数 (5.1) に従って分布する．往路の希望出発時刻と復路の希望出発時刻の確率分布が独立であると仮定しよう．往路における任意の希望出発時刻 t_1 を持つ家計の復路の出発時刻がいずれも確率密度関数 (5.1) に従うと仮定する．さらに，家計の総数を α と表そう．この時，バスサービスに対する集計化された需要関数は

$$m(p,\boldsymbol{s}(n)) = \alpha \int_0^T \int_0^T \delta(t_1,t_2:\boldsymbol{h}) f(t_2) f(t_1) dt_1 dt_2 \tag{5.9}$$

と表される．ここで，出発時刻が s_i のバスの時間軸上における市場の範囲を定義する．家計が当該バスを利用するためには，当該家計の希望出発時刻は

$$s_i - t \leq \frac{q-p}{\varepsilon} \tag{5.10}$$

を満足しなければならない．ただし，$(q-p)/\varepsilon$は待ち時間の上限値を表す．したがって，時刻s_iに出発するバスの潜在的顧客の最早出発時刻$t^*(s_i)$は

$$t^*(s_i) = s_i - \frac{q-p}{\varepsilon} \tag{5.11}$$

で定義される．

5.4.3 企業行動のモデル化

バス企業は利潤が最大となるようにサービス運賃と運行ダイヤを決定する．バス企業は当該路線のみ運行権利を有していると仮定する．また，バスサービス1便あたりの運行費用をcと表そう．バス企業はすべての利用者から一定額の運賃pを徴収する．この時，往路あるいは復路の運賃収入はそれぞれ$pm(p, \boldsymbol{s}(n))$と表される．いま，バス利用者は往路と復路の双方においてバスを利用することに着目すれば，バス企業が運賃p，ダイヤ$\boldsymbol{s}(n)$の下で獲得できる利潤は

$$\Pi(n) = 2pm(p, \boldsymbol{s}(n)) - 2nc \tag{5.12}$$

と表される．バス企業は利潤(5.12)を最大にするように運賃pとバスダイヤ$\boldsymbol{s}(n)$を決定する．

バス企業のダイヤ設定行動について考えよう．いま，時刻s_iに出発するバスの時間軸上での市場の範囲を定義する．式(5.10)より，当該のバスがカバーする家計の希望出発時刻の集合$\Xi(s_i)$は

$$\Xi(s_i) = \{t | t \in [t^*(s_i), s_i)\} \tag{5.13}$$

と表される．ただし，家計が「往路にバスを利用するかどうか」は「復路にバスを利用するかどうか」にも依存しており，家計の往路の希望出発時刻が$\Xi(s_i)$の中に含まれていたとしても，その家計が必ずしも当該のバスを利用するとは限らない．それぞれのバスがカバーする市場の厚み（以下，市場幅と呼ぶ）Δを

$$\Delta = \frac{q-p}{\varepsilon} \tag{5.14}$$

と表そう．バス容量に制限がないため，バス企業は時間軸上での個々のバス市場が互いに重ならず，かつ利用者密度の大きい時刻帯より個々のバス市場が連続的につながるようにバスダイヤを設定する．この時，利潤を最大化することが可能となる．すなわち，最適バスダイヤは始発時刻$s_1 = \Delta$から時間幅Δごとに等間隔でバスを運行するパターンとして与えられる．いま，始発時刻$s_1 = \Delta$から間隔Δごとにn本のバスを運行するようなバスダイヤ（以下，条件付き最適ダイヤと呼ぶ）を$\boldsymbol{s}^*(n) = (\Delta, 2\Delta, \cdots, n\Delta)$と表そう．往路と復路のバス市場の構造が対称的であり，バス企業は往路と復路に対して同じ運行ダイヤを設定する．式(5.1)より，希望出発時刻tが遅くなるにつれて，家計のバス利用密度は単調に小さくなる．最適な運行本数は追加的に1便増加した時の限界運賃収入が当該便の運行費用を回収できなくなる臨界的な水準に決定される．すなわち，バス企業が設定する最適な運行ダイヤは，

$$pm(p, \boldsymbol{s}^*(n^*)) - pm(p, \boldsymbol{s}^*(n^*-1)) \geq c \tag{5.15a}$$

$$pm(p, \boldsymbol{s}^*(n^*+1)) - pm(p, \boldsymbol{s}^*(n^*)) < c \tag{5.15b}$$

を満足するような$\boldsymbol{s}^*(n^*)$で与えられる．

条件付き最適ダイヤ$\boldsymbol{s}^*(n)$を与件として需要関数を求めてみよう．条件付き最適ダイヤ$\boldsymbol{s}^*(n)=(\Delta,\cdots,n\Delta)$の特性より，当該ダイヤの下で家計がバスを利用するためには，家計の出発希望時間が

$$t_1 \in [0, n\Delta) \quad \text{and} \quad t_2 \in [0, n\Delta) \tag{5.16}$$

を満足しなければならない．いま，往路と復路の希望出発時刻の確率分布が互いに独立であることより，条件付き最適ダイヤ$\boldsymbol{s}^*(n)$を与件としたバス需要関数は

$$m(p, \boldsymbol{s}^*(n)) = \alpha \int_0^{n\Delta} \int_0^{n\Delta} f(t_2) f(t_1) dt_1 dt_2 = \alpha \left\{F(n\Delta)\right\}^2 = \frac{\alpha}{T^4}\left\{T^2 - (T - n\Delta)^2\right\}^2 \tag{5.17}$$

と表される．ただし，関数Fは確率密度関数(5.1)の分布関数であり，家計のバス利用確率を表す．バス需要関数(5.17)が往路，復路の利用確率$F(n\Delta)$の2乗で表されることに留意して欲しい．すなわち，ある家計にとって往路（復路）におけるバス利用が便利であっても，復路（往路）における待ち時間が長い場合には，当該の家計はバスを利用しない．このような往路と復路における交通手段の補完性が，**図5.1**に示したような規模の経済性を生み出す源泉となっている．

最後に，バス企業の運賃の決定問題を考えよう．当面の間，バスの運行本数$\overline{n}$を固定しよう．あるバス運賃のもとで，家計が個々のバスを利用する市場幅Δは式(5.14)に示すように，自動車利用の場合の費用とのバス運賃の差$q-p$に依存する．式(5.14)より，バス運賃を値上げすれば市場幅は小さくなり，各バスが集客できる家計数が減少する．このことを明示的に表すために，市場幅をバス運賃pの関数として次式のように表そう．

$$\Delta(p) = \frac{q-p}{\varepsilon} \tag{5.18}$$

バスの運行本数$\overline{n}$を与件したバス企業の利潤は

$$\begin{aligned}\Pi(\overline{n}) &= 2pm(p, \boldsymbol{s}^*(\overline{n})) - 2\overline{n}c \\ &= 2p\alpha\left\{F(\overline{n}\Delta(p))\right\}^2 - 2\overline{n}c\end{aligned} \tag{5.19}$$

と表される．上式に式(5.18)を代入し，利潤(5.12)のpに関する1階の最適化条件を求めれば

$$4pF(\overline{n}\Delta(p))\frac{\partial F(\overline{n}\Delta(p))}{\partial \Delta(p)}\frac{d\Delta(p)}{dp} + 2\{F(\overline{n}\Delta(p))\}^2 = 0 \tag{5.20}$$

を得る．最適化条件(5.20)を満足するようなバス運行本数$\overline{n}$の下での条件付き最適運賃を$p^*(\overline{n})$と表そう．ここで，家計がバスを利用する誘因を持つためにはバス運賃に関して少なくとも$p^*(\overline{n}) < q$が成立しなければならないことに留意しよう．また，等時間間隔で運行されるすべてのバスが，家計の希望出発時刻が分布する時間区間$[0, T]$内に運行される（無駄なバスサービスが存在しない）ためには，最終のバスの出発時刻が最も遅い希望出発時刻T以前になければならない．すなわち，バス運賃はバスダイヤ設定時刻の制約$n\Delta(p^*(\overline{n})) \leq T$を満足する．したがって，条件付き最適運賃$p^*(\overline{n})$は次式を満足しなければならない．

$$q > p^*(\overline{n}) \geq q - \frac{T\varepsilon}{\overline{n}} \tag{5.21}$$

5.4.4 市場均衡解

以上の議論を市場均衡条件としてとりまとめる．最適化条件 (5.20) を満足する運賃 $p^*(n)$ はバス運行本数 n の下での条件付き最適運賃である．一方，均衡運行本数 n^* は式 (5.15a),(5.15b) で決定される．いま，$n^* > 0$, $p^* > 0$ が成立するような均衡解が存在すると仮定しよう．この時，市場均衡解は

$$4p^*F(n^*\Delta(p^*))\frac{\partial F(n^*\Delta(p^*))}{\partial\Delta(p^*)}\frac{d\Delta(p^*)}{dp^*} + 2\{F(n^*\Delta(p^*))\}^2 = 0 \tag{5.22a}$$

$$p^*\alpha\{m(p^*, \boldsymbol{s}^*(n^*)) - m(p^*, \boldsymbol{s}^*(n^*-1))\} \geq c \tag{5.22b}$$

$$p^*\alpha\{m(p^*, \boldsymbol{s}^*(n^*+1)) - m(p^*, \boldsymbol{s}^*(n^*))\} < c \tag{5.22c}$$

を同時に満足するような p^*, n^* として求まる．ただし，p^* は条件 (5.21) を満足しなければならない．

5.5 市場均衡解の特性

5.5.1 手段補完性と規模の経済

式 (5.22a)-(5.22c) で定義される市場均衡解の特性を分析する．まず，バスの運行本数 n を固定し，条件 (5.22a) を満足するような条件付き最適運賃 $p^*(n) > 0$ を考えよう．1 階の最適条件 (5.22a) を具体的に展開すれば

$$\begin{aligned}\frac{n(q-p^*(n))}{T^4\varepsilon^4}&\{2T\varepsilon - n(q-p^*(n))\}\{-5np^*(n)\\ &-6(T\varepsilon - nq)p^*(n) + q(2T\varepsilon - nq)\} = 0\end{aligned} \tag{5.23}$$

を得る．式 (5.23) を満たす解 $p^*(n)$ として

$$p^*(n) = \begin{cases} q \\ q - \frac{2T\varepsilon}{n} \\ \frac{-3(T\varepsilon - nq)\pm\sqrt{K(n)}}{5n} \end{cases} \tag{5.24}$$

が得られる．ただし，$K(n) = 9(T\varepsilon)^2 - 8T\varepsilon nq + 4(nq)^2$ である．式 (5.24) に示す 4 種類のバス運賃の中で，制約条件 (5.21) を満足する条件付き最適運賃 $p^*(n)$ は

$$p^*(n) = \frac{-3(T\varepsilon - nq) + \sqrt{K(n)}}{5n} \geq 0 \tag{5.25}$$

だけである（証明は**付録 5.I-a** 参照のこと）．すなわち，任意の $n > 0$ に対して，最適運賃は一意的に決定される．さらに，条件付き最適運賃 $p^*(n)$ は条件

$$\frac{dp^*(n)}{dn} = T\varepsilon\frac{3\sqrt{K(n)} + 4nq - 9T\varepsilon}{5n^2\sqrt{K(n)}} \geq 0 \tag{5.26}$$

を満足する（**付録 5.I-b** 参照）．条件付き最適運賃 $p^*(n)$ は n に関して単調増加関数である．つぎに，最適運行本数を求める問題を考える．議論の見通しをよくするため，運行本数 n を実数と考えよう．この時，運行本数に関する最適化条件 (5.22b),(5.22c) は

$$p\alpha\frac{dm(p^*(n), \boldsymbol{s}^*(n))}{dn} = c \tag{5.27}$$

と表せる．運行本数nに関する最適化条件(5.27)を

$$\alpha F(n,p^*(n))\left(\frac{dp^*(n)}{dn}F(n,p^*(n))+2p^*(n)\frac{dF(n,p^*(n))}{dn}\right)-c=0 \tag{5.28}$$

と書き直そう．さらに，ロピタルの定理より，$\lim_{n\to 0} d\Pi(n,p^*(n))/dn=-c$，$\Pi(0,p^*(0))=0$が成立する．したがって，$\Pi(n,p^*(n))$は$n>0$の領域における$n=0$の近傍において減少関数であり，負の値をとる（**付録5.I-c**参照）．一方，式(5.25)より$\lim_{n\to\infty} p^*(n)=q$が成立する．さらに，式(5.28)において

$$\begin{aligned}\frac{dF(n,p^*(n))}{dn} &= \frac{1}{T^2}\frac{d\{n\Delta(p^*(n))(2T-n\Delta(p^*(n)))\}}{dn}\\ &= \frac{2}{T^2}\frac{d(n\Delta(p^*(n)))}{dn}(T-n\Delta(p^*(n)))\geq 0\end{aligned} \tag{5.29}$$

が成立する（**付録5.I-d**参照）．すなわち，$F(n,p^*(n))$はnに関して単調増加であり，また$\lim_{n\to\infty} F(n,p^*(n))=1$である．また，$\lim_{n\to\infty}\Pi(n,p^*(n))=-\infty$より，$n$が十分大きいとき，利潤$\Pi(n,p^*(n))$は$-\infty$へ発散する．ここで，運行費用$c\geq 0$が十分に小さい値をとる場合を考えよう．この時，式(5.28)の右辺第1項はcより大きい値をとり，$d\Pi(n,p^*(n))/dn>0$なるnが存在する．すなわち，$d\Pi(n,p^*(n^*))/dn=0$が成立するようなn^*が存在し，その点において利潤は極大値をとる．一方，cが十分大きい（仮に，$c>\alpha q$が成立する）場合を想定しよう．この時，任意の$n>0$に対して$\Pi(n,p^*(n))<0$が成立する．したがって，$n=0$において極大値$\Pi(0,p^*(0))=0$をとる．さらに，$F(n,p^*(n))$が極大値をとる$n^*>0$に対して，$\Pi(n^*,p^*(n^*))<0$が成立する場合には任意の$n>0$に関して利潤が常に負となり，正の運行本数をもつ均衡解は存在しない．運行費用cの値に応じて均衡解の数は変化し，以下の命題が成立する．

命題5.1 式(5.28)を満足する$n^*>0$に関して$n^*c\leq\alpha p(n^*)$が成立する場合，市場均衡解として，$(p,n)=(0,0)$以外に均衡解(p^*,n^*)が少なくとも1つ存在する．ただし，$n^*>0, p^*>0$である．一方，$n^*c>\alpha p(n^*)$が成立するときには$(0,0)$が唯一の均衡解となる．

命題5.1より，バス市場の構造に関する示唆が得られる．往路と復路の交通手段が補完的であるバス市場では手段補完性に伴う規模の経済が機能し，バス企業のサービス水準（運行本数）とサービスを利用する家計数との間にポジティブフィードバックのメカニズムが機能する．すなわち家計による需要の減少（増加）はバス企業のサービス水準の減少（増加）をもたらす．その結果，初期時点に状態に応じてバス市場は，正の運行本数をもつ市場均衡解$(p,n)=(p^*,n^*)$かもしくは全くサービスが提供されない均衡解$(p,n)=(0,0)$が現れる．

5.5.2　代替化施策の下での市場均衡

　交通手段の代替化施策が導入され，それぞれのトリップにおいて互いに独立に手段選択が可能になる場合を考えよう．往路と復路の双方において，バス以外の交通 手段が常に瞬時に利用可能である．交通手段の代替化施策により手段的技術外部性が解消されることの経済便益を分析するために，代替的な交通手段

の運賃は自家用車による交通費用qに一致すると仮定する．以上の仮定の下で，交通手段の代替化施策を導入した市場均衡モデル（以下，拡張モデルと呼ぶ）を定式化する．

いま，往路・復路において片道運賃qの代替的交通手段が常に利用可能であると考える．往路・復路にバスを利用した場合の片道あたりの部分効用関数を

$$\tilde{U}^i_{bus}(t_i : \boldsymbol{h}) = v(t_i) - p \tag{5.30}$$

と表そう．ただし，$i = 1$の時は往路を，$i = 2$の場合は復路を表す．また，記号$\tilde{\ }$は代替化施策を採用していることを示している．一方，往路，もしくは復路において，自家用車も含めてバス以外の代替的な交通手段を利用した場合の片道あたりの効用関数を

$$\tilde{U}^i_{car} = -q \tag{5.31}$$

と表す．この時，バスサービスの属性が$\boldsymbol{h}$であり，かつ希望出発時刻がt_iである家計が最適な手段選択を実施することにより獲得できる効用水準は

$$\tilde{U}^*_i(t_i : \boldsymbol{h}) = \max\{\tilde{U}^i_{bus}(t_i : \boldsymbol{h}), \tilde{U}^i_{car}\ \} \tag{5.32}$$

と表せる．したがって，往路・復路トリップを通じて獲得できる間接効用関数は

$$\tilde{U}^*(t_1, t_2 : \boldsymbol{h}) = Y + \sum_{i=1}^{2} \tilde{U}^*_i(t_i : \boldsymbol{h}) \tag{5.33}$$

と表せる．**5.4.3** と同様に，バス企業は始発時刻から時間幅Δごとに等間隔でバスを運行する．バス運行ダイヤ$\boldsymbol{s}^*(n)$を与件とした片道あたりのバス需要関数は，たとえば往路を例にとれば

$$\tilde{m}(p, \boldsymbol{s}^*(n)) = \alpha \int_0^{n\Delta} f(t_1)dt_1 = \alpha F(n\Delta) = \alpha \frac{1}{T^2}\left\{T^2 - (T - n\Delta)^2\right\} \tag{5.34}$$

となる．バス企業の利潤$\tilde{\Pi}(n)$は

$$\tilde{\Pi}(n) = 2p\tilde{m}(p, \boldsymbol{s}^*(n)) - 2nc \tag{5.35}$$

となる．基本モデルにおける市場均衡（以下，基本市場均衡と呼ぶ）と同様に，手段代替化政策を導入した場合の市場均衡（以下，代替化市場均衡と呼ぶ）は

$$2\tilde{p}^* \frac{\partial F(\tilde{n}^*\Delta(\tilde{p}^*))}{\partial \Delta(\tilde{p}^*)} \frac{d\Delta(\tilde{p}^*)}{d\tilde{p}^*} + 2F(\tilde{n}^*\Delta(\tilde{p}^*)) = 0 \tag{5.36a}$$

$$\tilde{p}^*\alpha\{\tilde{m}(\tilde{p}^*, \boldsymbol{s}^*(\tilde{n}^*)) - \tilde{m}(\tilde{p}^*, \boldsymbol{s}^*(\tilde{n}^* - 1))\} \geq c \tag{5.36b}$$

$$\tilde{p}^*\alpha\{\tilde{m}(\tilde{p}^*, \boldsymbol{s}^*(\tilde{n}^* + 1)) - \tilde{m}(\tilde{p}^*, \boldsymbol{s}^*(\tilde{n}^*))\} < c \tag{5.36c}$$

を同時に満足するような$\tilde{p}^*, \tilde{n}^*$として求まる．ただし，$\tilde{p}^*$は条件 (5.21) を満足しなければならない．

ここで，運行本数nを所与としたときの条件付き価格$p(n)$に関する 1 階の最適化条件 (5.36a) は

$$\tilde{p}^*(n)\frac{\partial F(n\Delta(\tilde{p}^*(n))}{\partial \Delta(\tilde{p}^*(n))} \frac{d\Delta(\tilde{p}^*(n))}{d\tilde{p}^*(n)} + F(n\Delta)\frac{n}{T^2}\Big\{ -\frac{2\tilde{p}^*(n)}{\varepsilon}(T - n\Delta) + \Delta(2T - n\Delta)\Big\} = 0 \tag{5.37}$$

となる．式 (5.37) を満たす条件付き最適運賃$\tilde{p}^*(n)$は,

$$\tilde{p}^*(n) = \frac{-2(T\varepsilon - nq) \pm \sqrt{\tilde{K}(n)}}{3n} \tag{5.38}$$

となる．$\tilde{K}(n) = n^2q^2 - 2nq\varepsilon T + 4\varepsilon^2T^2$である．この内，$\tilde{p}^*(n) > 0$の条件を満足する条件付き最適運賃は

$$\tilde{p}^*(n) = \frac{-2(T\varepsilon - nq) + \sqrt{\tilde{K}(n)}}{3n} \tag{5.39}$$

であり，運行本数に関する制約条件$n\Delta(n,\tilde{p}^*(n)) \leq T$を満足する（**付録 5.II-a** 参照）．さらに，利潤$\Pi(n, \tilde{p}^*(n))$は凹関数であり，

$$\frac{\alpha q^2}{2T\varepsilon} > c \tag{5.40}$$

が成立するとき，$n = 0$の近傍において増加関数となる．また，$\lim_{n\to\infty} \tilde{\Pi}^*(n) = -\infty$が成立する（**付録 5.II-b** 参照）．したがって，以下の命題が成立する．

命題 5.2　条件 (5.40) が成立するとき均衡条件 (5.37) を満たす唯一の均衡解$(\tilde{n}^*,\tilde{p}^*)$が存在する．ただし，$\tilde{n}^* > 0,\tilde{p}^* > 0$である．一方，条件 (5.40) が成立しない時，均衡解は$(0, 0)$のみである．

このように手段代替化施策を採用した場合，複数均衡解は存在しない．これは往路と復路の交通手段選択に関する制約がそれぞれなくなることにより，手段補完性に伴う規模の経済性が働かなくなることによるものである．本節の設定では手段補完性に伴う外部経済が消滅するため，バス市場が成立するかどうかは運行費用cの大きさのみによって決定される．

5.5.3　数値事例による市場特性の分析

家計のバス選択行動に手段補完性が存在する場合，バス市場に規模の経済性が現れ，複数の市場均衡解が存在する．一方，家計のバス選択行動における手段補完性を解消するために代替化施策を導入した場合，バス市場における規模の経済性は消滅し，唯一の市場均衡解が存在する．このようなバス市場の構造特性を数値計算により確認しよう．**図 5.4** は基本モデル (5.22a)-(5.22c) においてパラメータを$\alpha = 1, c = 0.025, \varepsilon = 1, T = 10, q = 1$に設定したベンチマークケースにおける運行本数$n$と利潤$\Pi(n, p^*(n))$の関係を示している．図では運行本数$n$を連続的に表現しているが，$n$が整数の時にのみ市場構造として意味を持っている．ベンチマークケースでは，運行本数が$n = 16$の時に利潤が最大となる．一方，$n = 0$も均衡解である．**図 5.4** にはバスの運行費用を$c = 0.05$としたケースの利潤と運行本数の関係も併記している．本ケースの場合，ベンチマークケースに対してバスの運行費用が増加した結果，任意の$n \geq 0$に対して常に利潤が負となり，端点$n = 0$のみが均衡解となる．このように運行費用cの大きさにより均衡解の個数が変化する．ベンチマークケースにおいて，バス企業が仮に低い運行本数$\check{n}$でバスを運行したとしよう．この場合，負の利潤しか得られない．バス会社が近視眼的に行動し，運行本数を$\hat{n}$まで減少させれば，利潤はさらに減少す

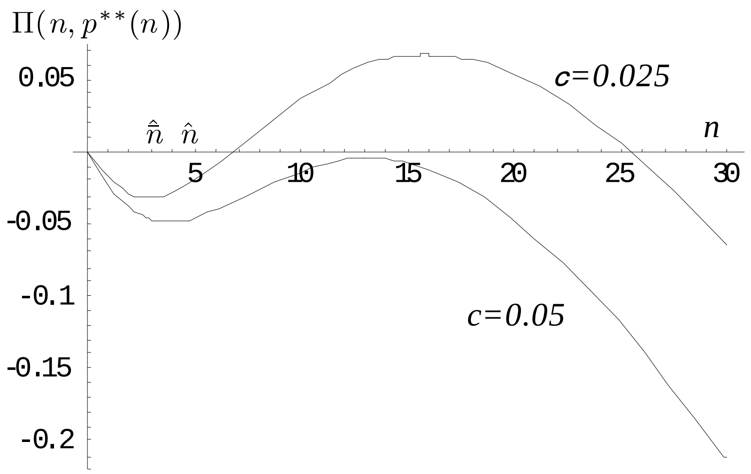


図 5.4　利潤と運行本数（基本モデル）

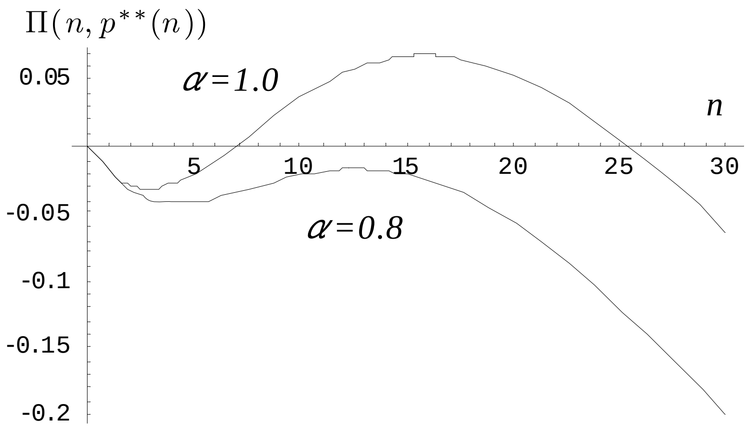


図 5.5　潜在需要と運行本数（基本モデル）

る．バスの運行本数を減少させる限り，常に利潤は負となり，バス会社は当該路線を廃止するだろう．しかし，バス企業がある一定本数以上の頻度でバスを運行した場合，規模の経済性が働き運行本数が $n = 16$ の時に利潤が極大となる．

つぎに，基本モデルを対象として，需要の大きさ，時間価値等の市場環境の変化が市場構造に及ぼす影響を分析する．免許保有率の増加，社会経済の発展により，バス需要αは減少し，時間価値εは増加する．**図 5.5** はパラメータをベンチマークケース $c = 0.025, \varepsilon = 1, T = 10, q = 1$ に設定し，バスの潜在需要を表すαの値が 1 から 0.8 に減少した時の運行本数と利潤の関係を示している．潜在的需要αが小さくなるほど，利潤が正となる n の領域が小さくなる．逆に，αが大きくなれば，バス市場に規模の経済性がより働くようになり，正の利潤が獲得できる可能性が増加し，バスの運行本数も増加する．**図 5.6** はベンチマークケース

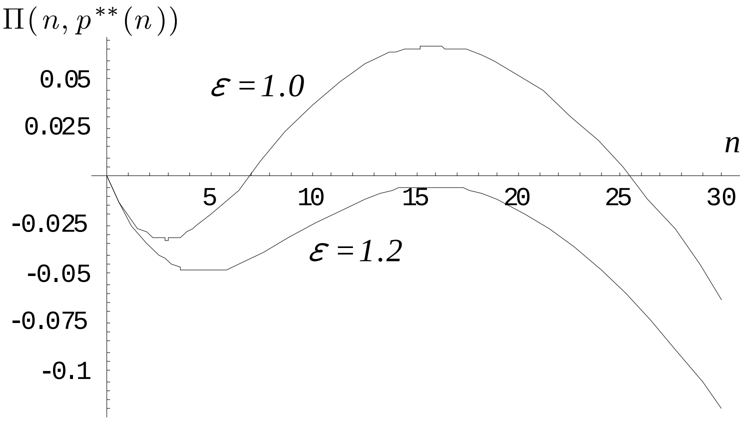


図 5.6　時間価値と運行本数（基本モデル）

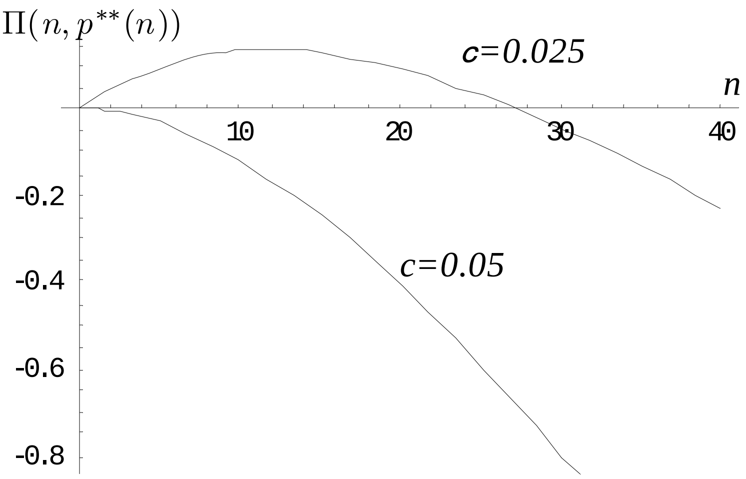


図 5.7　利潤と運行本数（拡張モデル）

に対して，時間価値を表すパラメータ値εが1から1.2に増加した時の運行本数と利潤の関係を示している．時間価値εが大きくなるほど，正の利潤を獲得できる均衡解は存在しにくくなることが分かる．すなわち，経済の発展により，個人の時間価値が大きくなるほど，待ち時間による不効用が大きくなり，バスを利用しなくなる．

図 5.7 はパラメータ値をベンチマークケースと同じ値$\alpha = 1, c = 0.025, \varepsilon = 1, T = 10, q = 1$に設定し，交通手段の代替化施策を導入した拡張モデル(5.36a)-(5.36c)における運行本数nと利潤$\tilde{\Pi}(n, p^*(n))$の関係を示している．本ケースでは運行本数が$n = 12$の時に利潤が最大となる．手段代替化施策を導入することにより$n = 0$は均衡解とはならない．**図 5.7** にはバス運行費用が$c = 0.05$に増加させたケースにおける運行本数と利潤の関係も記載している．この場合，任意の$n \geq 0$に対して利潤は負となり端点解$n = 0$のみが

均衡解となる．手段代替化施策を導入することにより，手段的技術外部性が消滅し複数均衡解は存在しなくなる．また，基本市場均衡と代替化市場均衡におけるバス運行本数を比較した場合，基本市場均衡の方がバスの運行本数は多い．すなわち，基本市場均衡では，運行本数に関して規模の経済性が働くため，企業はより多くのバスサービスを提供することとなる．

家計の交通手段選択における手段補完性は，**図 5.1** に示したように，家計のバス利用確率を減少させる効果が働く．その一方で，バスの運行本数に関する規模の経済性が働くため，バス企業に運行頻度を増加させる誘因を与える．交通手段の代替化施策は，手段補完性が家計にもたらすマイナスの効果とプラスの効果の双方に同時に影響を及ぼす可能性がある．以下では，交通手段の代替化施策が社会的厚生や家計の総消費者余剰に及ぼす影響を分析する．

5.6 代替化施策の経済便益評価

5.6.1 市場均衡と社会的厚生

基本モデルを対象として，バス市場における社会的厚生を定義しよう．バスの運行本数 n を与件としよう．家計がバスを待つことによる総不効用 $UT(n)$ は

$$
\begin{aligned}
UT(n) &= \varepsilon \sum_{i=1}^{n} \int_{(i-1)\Delta}^{i\Delta} \left\{ \sum_{j=1}^{n} \int_{(j-1)\Delta}^{j\Delta} (j\Delta - t' + i\Delta - t) f(t') dt' \right\} f(t) dt \\
&= \frac{\varepsilon n^2 \Delta^3}{3T^4} \{ n\Delta^2 (3n-1) - 2\Delta T (6n-1) + 12T^2 \}
\end{aligned}
\tag{5.41}
$$

と定義される．したがって，家計が獲得する総消費者余剰 $CS(n, p^*(n))$ は

$$
\begin{aligned}
CS(n, p^*(n)) &= \alpha \int_0^T \int_0^T U^*(t_1, t_2 : \boldsymbol{h}) dt_1 dt_2 \\
&= \alpha Y - m(p^*(n), \boldsymbol{s}^*(n)) 2p^*(n) - \{1 - m(p^*(n), \boldsymbol{s}^*(n))\} 2q - UT(n)
\end{aligned}
\tag{5.42}
$$

と表される．ただし，$p^*(n)$ は条件付き最適運賃 (5.25) を，$m(p^*(n), \boldsymbol{s}^*(n))$ は集計的需要関数 (5.17) を表す．一方，生産者余剰はバス企業の利潤 (5.19) により表される．したがって，基本市場均衡 $(n^*, p^*(n^*))$ における社会的厚生 $SW(n^*, p^*(n^*))$ は

$$
\begin{aligned}
SW(n^*, p^*(n^*)) &= CS(n^*, p^*(n^*)) + \Pi(n^*, p^*(n^*)) \\
&= \alpha Y - 2n^* c - 2q \{1 - m(p^*(n^*), \boldsymbol{s}^*(n^*))\} - UT(n^*)
\end{aligned}
\tag{5.43}
$$

と表される．なお，社会的厚生 (5.43) には道路混雑の効果が含まれていない．バスの利用客が増加すれば，バスと自家用車の双方の走行時間が減少し，社会的厚生は増加する．しかし，道路混雑が減少しても，バスと自家用車の双方の走行時間が同時に減少するため，家計の手段選択行動は変化しない．道路混雑による社会的厚生の変化を考慮するためには，社会的厚生 (5.43) に自家用車利用客数 $1 - m(p, \boldsymbol{s}^*(n))$ に依存して決定される走行時間による不効用項を付加すればいい．しかし，手段補完性と社会的厚生の関係に分析の焦点を絞るため，以下の議論ではあえて道路混雑の問題をとりあげない．道路混雑を考慮した場合，総

消費者余剰$CS(n^*, p^*(n^*))$が大きくなるほど，自家用車利用が減少することによる走行時間の減少という追加的な便益がすべての家計に付加されることを注記しておくにとどめる．

つぎに，代替化施策を導入した拡張モデルを考える．家計がバスを待つ不効用は

$$\tilde{UT}(n) = 2\varepsilon \sum_{i=1}^{n} \int_{(i-1)\Delta}^{i\Delta} (i\Delta - t) f(t) dt = \frac{\varepsilon n \Delta^2}{3T^2}(2T + \Delta - 3n\Delta) \tag{5.44}$$

と定義される．また，総消費者余剰$\tilde{CS}(n, \tilde{p}^*(n))$は

$$\begin{aligned} \tilde{CS}(n, \tilde{p}^*(n)) &= \alpha \int_0^T \int_0^T \tilde{U}^*(t_1, t_2 : \boldsymbol{h}) dt_1 dt_2 \\ &= \alpha Y - \tilde{m}(\tilde{p}^*(n), \boldsymbol{s}^*(n)) 2\tilde{p}^*(n) - \{1 - \tilde{m}(\tilde{p}^*(n), \boldsymbol{s}^*(n))\} 2q - \tilde{UT}(n) \end{aligned} \tag{5.45}$$

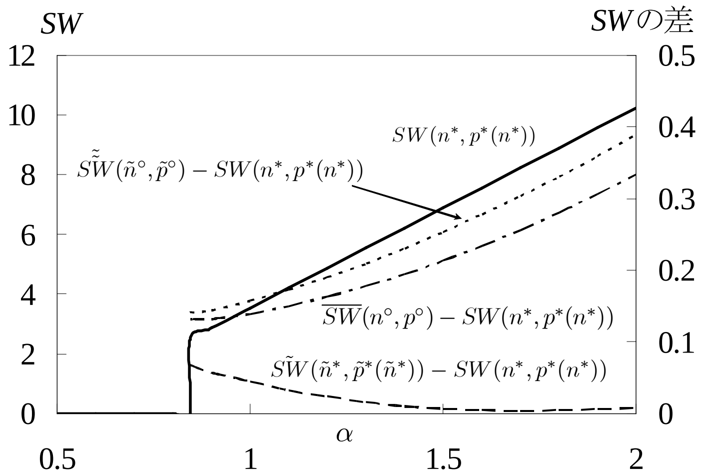
と表される．ただし，$\tilde{p}^*(n)$は条件付き最適運賃(5.39)を，$\tilde{m}(p^*(n), \boldsymbol{s}^*(n))$は集計的需要関数であり式(5.34)で表される．また，$\tilde{UT}(n)$は式(5.44)で表される．一方，生産者余剰はバス企業の利潤(5.35)により表される．したがって，代替化市場均衡$(\tilde{n}^*, \tilde{p}^*(\tilde{n}^*))$であるときの社会的厚生$\tilde{SW}(\tilde{n}^*, \tilde{p}^*(\tilde{n}^*))$は次式で表される．

$$\tilde{SW}(\tilde{n}^*, \tilde{p}^*(\tilde{n}^*)) = \alpha Y - 2\tilde{n}^* c - 2q\{1 - \tilde{m}(\tilde{p}^*(\tilde{n}^*), \boldsymbol{s}^*(\tilde{n}^*))\} - \tilde{UT}(\tilde{n}^*) \tag{5.46}$$

基本市場均衡と代替化市場均衡における社会的厚生を比較して，交通手段の代替化施策の導入の経済効果を分析しよう．**図5.8**はα以外のパラメータ値をベンチマークケースに設定し，潜在需要と基本市場均衡の社会的厚生$SW(n^*, p^*(n^*))$の関係を示したものである．また，同図には代替化市場均衡と基本市場均衡の社会的厚生の差$\tilde{SW}(\tilde{n}^*, \tilde{p}^*(\tilde{n}^*) - SW(n^*, p^*(n^*))$と潜在需要$\alpha$の関係も併記している．基本モデルにおいて２つの市場均衡が存在する場合，バスの運行が実施される均衡解をとりあげている．任意のαに対して常に$SW(n^*, p^*(n^*)) \leq \tilde{SW}(\tilde{n}^*, \tilde{p}^*(\tilde{n}^*))$が成立し，代替化施策を導入することにより社会的厚生が増大することが理解できる．**図5.9**はα以外のパラメータ値をベンチマークケースに設定し，基本市場均衡における総消費者余剰$CS(n^*, p^*(n^*))$と潜在需要の関係を示したものである．同図には代替化市場均衡と基本市場均衡の総消費者余剰の差$\tilde{CS}(\tilde{n}^*, p^*(\tilde{n}^*)) - CS(n^*, p^*(n^*))$と潜在需要の関係も示している．本ケースの場合，任意のαに対して$CS(n^*, p^*(n^*)) \geq \tilde{CS}(\tilde{n}^*, p^*(\tilde{n}^*))$が成立し，代替化施策を導入することにより総消費者余剰は常に減少する．すなわち，代替化戦略を導入することにより社会的厚生は増加するものの，社会的厚生の増加はバス企業に帰属し，総消費者余剰は逆に減少する結果となる．交通手段の代替化施策は手段補完性を解消することにより，**図5.1**に示したように家計のバス選択確率を増加させ，社会的厚生を増加させることが可能となる．しかし，手段補完性が解消されたために，バス企業は需要が多い時間帯のみにバスサービスの提供を絞ることが可能となる．しかし，運行本数が減少するため，家計の総消費者余剰は逆に減少するという問題点が生じる．すなわち，交通手段の代替化施策を導入する場合，家計の総消費者余剰の増加に資するようにバス企業の行動を規制することが必要である．

5.6.2 代替化施策とバス企業の規制

代替化市場均衡では，バス企業が運賃pとバスの運行本数nを自由にコントロールする場合を想定していた．ここでは，交通手段の代替化施策と同時に，政府がバス企業の運賃と運行本数を制御する場合を考



$\overline{SW}(n^\circ, p^\circ), S\tilde{\tilde{W}}(\tilde{n}^\circ, \tilde{p}^\circ)$ に関しては **5.6.2** で説明する．

図 5.8　社会的厚生と潜在需要の関係

えよう．バスの最適ダイヤ $\boldsymbol{s}^*(n)$ はこれまでの議論と同様に設定されると考える．バスの運行頻度を n，運賃を p に設定した場合，家計が獲得する総消費者余剰 $\overline{CS}(n,p)$ は

$$\overline{CS}(n,p) = \alpha Y - \tilde{m}(p, \boldsymbol{s}^*(n))2p - \{1 - \tilde{m}(p, \boldsymbol{s}^*(n))\}2q - UT(n) \tag{5.47}$$

と表される．拡張モデルの場合と異なり，運賃 p が条件 (5.22a) を満足する条件付き最適運賃 $\tilde{p}^*(n)$ ではなく，自由に値を設定できる変数になっている．また，$UT(n)$ は式 (5.41) で表される．生産者余剰はバス企業の利潤 (5.19) により表される．したがって，バスの運行本数 n，運賃 p の下で実現する社会的厚生 $\overline{SW}(n,p)$ は

$$\overline{SW}(n,p) = \alpha Y - 2nc - 2q\{1 - \tilde{m}(p, \boldsymbol{s}^*(n))\} - \tilde{UT}(n) \tag{5.48}$$

と表される．政府が社会的厚生の最大化を図る社会的厚生最大化モデル

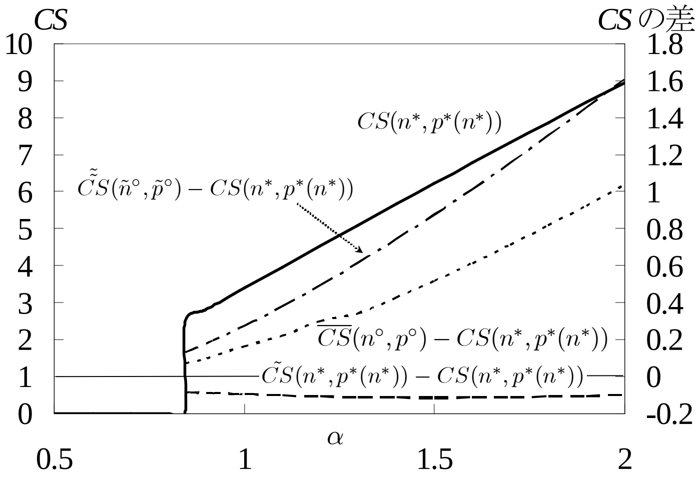
$$\max_{n,p} \left\{ \overline{SW}(n,p) \right\} \tag{5.49}$$

を考える．この問題の最適解を n°，p° と表し，その時に実現する社会的厚生を $\overline{SW}(n^\circ, p^\circ)$ と表そう．さらに，政府がバス企業の利潤をゼロに規制し，総消費者余剰の最大化を図る消費者余剰最大化モデル

$$\max_{n,p} \left\{ \overline{CS}(n,p) \right\} \tag{5.50a}$$

$$\text{subject to} \quad \Pi(n,p) = 0 \tag{5.50b}$$

を考える．ただし，利潤 $\Pi(n,p)$ は式 (5.19) で表される．この問題の最適解を $\tilde{n}^\circ$，$\tilde{p}^\circ$，および最適解の時に実現する社会的厚生を $S\tilde{\tilde{W}}(\tilde{n}^\circ, \tilde{p}^\circ)$ と表そう．先に示した，**図 5.8** には，パラメータ値をベンチマークケース



$\overline{CS}(n^\circ, p^\circ), \tilde{\tilde{C}}S(\tilde{n}^\circ, \tilde{p}^\circ)$ に関しては **5.6.2** で説明する．

図 5.9　総消費者余剰と潜在需要の関係

に設定し，社会的厚生最大化モデルの最適解と基本モデルの社会的厚生の差$\overline{SW}(n^\circ, p^\circ) - SW(n^*, p^*(n^*))$，および消費者余剰最大化モデルの最適解と基本モデルの社会的厚生の差$S\tilde{\tilde{W}}(\tilde{n}^\circ, \tilde{p}^\circ) - SW(n^*, p^*(n^*))$と潜在需要の関係を併記している．当然のことながら，社会的厚生最大化モデルの場合に，任意のαに対して社会的厚生が最大になっている．消費者余剰最大化モデルの場合，基本モデルより社会的厚生は大きくなるが，拡張モデルの場合よりは小さくなる．**図 5.9** には，社会的厚生最大化モデルの最適解と基本モデルにおける総消費者余剰の差$\overline{CS}(n^\circ, p^\circ) - CS(n^*, p^*(n^*))$，および消費者余剰最大化モデルの最適解と基本モデルにおける総消費者余剰の差$\tilde{\tilde{C}}S(\tilde{n}^\circ, \tilde{p}^\circ) - CS(n^*, p^*(n^*))$と潜在需要$\alpha$の関係も併記している．消費者余剰最大化モデルの場合に総消費者余剰が最大になる．社会的厚生最大化モデルを用いた場合，拡張モデルより総消費者余剰は大きくなるが，基本モデルの場合よりは小さくなる．家計の厚生を可能な限り大きくするためには，消費者余剰最大化モデルを用いてバス企業の行動を規制することが必要となる．当然のことながら，**図 5.8**，**図 5.9** に示した分析結果は，ベンチマークケースにおいてのみ成立する事項であり，それより一般的な結論を導くことはできない．しかし，以上の数値計算事例を通じて，交通手段の代替化施策を導入する場合，バス企業の行動に関するきめ細かな誘導・規制が必要となる．

5.6.3　需要管理施策への示唆

カーシェアリング，レンタサイクル，相乗りタクシー等交通手段の代替化施策の導入により，家計の往復の交通手段選択における手段補完性を取り除くことが可能になる．それによって，家計のバス利用確率を増加させることが可能である．しかし，手段補完性が存在しなくなれば，運行本数の増加がバスの利用確率に及ぼす規模の経済性が機能しなくなるため，バス企業は代替化施策を導入する前の状態よりもバス

の運行本数を減らし，利潤の増加を図る可能性がある．以上の分析結果は，交通手段の代替化施策を導入する場合，併せてバス企業の行動を家計の総消費者余剰を大きくするように誘導することが必要であることを示唆している．しかし，現実に消費者余剰最大化モデルを用いて，バス企業の規制施策を精緻に設計することは容易でないだろう．交通手段の代替化施策を導入する場合に，バス企業の規制施策が同時に必要となるのは，代替化施策がバス企業にバス運行本数の削減の誘因を与える点にある．そこで，消費者余剰最大化モデルによる方式に代わる現実的な方策として，交通手段の代替化施策の導入を試みる場合，バス企業に対して従前の運賃と運行本数を維持するように協力を要請することが考えられる．バス企業が代替化施策の導入前の運賃，運行本数を維持し続ける場合，**図 5.1** に示したように代替化施策の導入により家計のバス利用確率は増加する．その結果，家計の総消費者余剰が増加すると同時に，バス企業の利潤も増加し，社会全体の厚生がパレート改善することとなる．

なお，以上の知見は，モデルの定式化の際に設けた前提条件に依存している．特に，これまでの議論では，交通手段の代替化施策の導入費用を無視してきた．特に，レンタサイクルシステム等，施策の導入費用が無視できない場合，代替化施策の導入による社会的厚生の増加と施策の導入費用の双方を同時に考慮に入れて，代替化施策の是非を検討すべきであることは言うまでもない．また，以上では家計の同質性を仮定していた．しかし，家計の選好が異質な場合，出発時刻が同一であっても，バスの待ち時間や運賃がバス需要に影響を及ぼすことになる．この場合，バス需要の多寡が道路混雑に影響を及ぼすことになり，道路混雑も同時に考慮に入れたより総合的な分析枠組みを開発することが必要となる．

5.7 結言

本章では，複数の需要を調整して供給側とマッチングさせることによりサービスを提供する公共交通市場としてバスサービス市場を取り上げた．バス市場に存在する外部性として，道路混雑，固定費用，待ち時間，手段補完性が存在することを指摘し固定費用，手段補完性という規模の経済性の存在がバス市場におけるポジティブフィードバックの原因となることを明らかにした．特に，家計のバス選択行動に手段補完性が存在する場合，家計の選好が同質であっても規模の経済性が働き，複数の市場均衡解が存在する．さらに，本章では，交通手段の代替化施策が手段補完性を解消する機能に着目し，代替化施策の導入が市場均衡の効率性に及ぼす影響を分析した．本章は交通手段選択における手段補完性がもたらすポジティブフィードバックに着目したものであるが，筆者の知る限り，このような観点からバス市場構造を分析した研究事例は他に存在しない．本章の研究を通じて，カーシェアリング，レンタサイクル等，交通手段の代替化施策の経済効果を分析する基本的枠組みを提示することができたと考える．

しかし，今後に残された多くの研究課題が存在する．第 1 に，交通手段選択における手段的技術外部性，不完全代替性を考慮した交通行動モデルの開発が必要である．特に，カーシェアリング，相乗り施策等，交通手段の代替化施策の効果を分析するためには，この 2 つの特性を明示的に考慮したような交通行動モデルの作成が不可欠となる．第 2 に，バス市場均衡における効率性を改善するための施策としては，交通手段の代替化施策以外にも運賃施策，直接的規制策等，多様な施策が利用可能である．一般に，規模の経済

性が存在する市場の効率化施策は複雑にならざるを得ないが，今後多様な交通施策の効果を分析する必要がある．第３に，本章では家計の選択行動における手段補完性に焦点を絞り，バス市場における規模の外部経済について分析を試みた．家計の選好に異質性が存在する場合，バスの利用客数の変化を通じた道路混雑を同時に分析したような分析枠組みが必要となる．最後に，本章で得られた知見は理論的分析の枠内にとどまっているが，今後は現実的なバス市場を対象として，社会的厚生のパレート改善に資するような交通施策のあり方を分析できるような，実用的な市場均衡モデルを開発する必要があると考える．

付録 5.I　命題 5.1 の証明

I-a) 条件付き最適運賃 (5.24) のうち，$p^*(n)=q, q-\frac{2T\varepsilon}{n}$ は $T>0, \varepsilon>0$ の仮定より明らかに条件 (5.21) を満足しない．

$$\left(q-\frac{T\varepsilon}{n}\right)-\frac{-3(T\varepsilon-nq)-\sqrt{K(n)}}{5n}=\frac{\sqrt{K(n)}-2(T\varepsilon-nq)}{5n}$$

より $K(n)>0$，$K(n)-4(T\varepsilon-nq)^2=5(T\varepsilon)^2\geq 0$ なので $\frac{-3(T\varepsilon-nq)-\sqrt{K(n)}}{5n}$ は条件 (5.21) を満足しない．最適運賃 $p^*(n)=\{-3(T\varepsilon-nq)+\sqrt{K(n)}\}/5n$ が条件 (5.21) を満足することを確認する．そこで，

$$q-\frac{-3(T\varepsilon-nq)+\sqrt{K(n)}}{5n}=\frac{3T\varepsilon+2nq-\sqrt{K(n)}}{5n}$$

を評価する．$(3T\varepsilon+2nq)^2-K(n)=20T\varepsilon nq\geq 0$ が成立する．一方，

$$\frac{-3(T\varepsilon-nq)+\sqrt{K(n)}}{5n}-\left(q-\frac{T\varepsilon}{n}\right)=\frac{2(T\varepsilon-nq)+\sqrt{K(n)}}{5n}$$

を評価する．$K(n)-4(T\varepsilon-nq)^2=5(T\varepsilon)^2\geq 0$ が成立する．したがって，$\{-3(T\varepsilon-nq)+\sqrt{K(n)}\}/5n$ は条件 (5.21) を満たす．また，運行本数に関する最適化条件より求まる n も式 (5.21) を満たす必要がある．

$$T-\frac{q-p^*(n)}{\varepsilon}n=\frac{\sqrt{K(n)}-2(nq-T\varepsilon)}{5\varepsilon}$$

より $K(n)-4(nq-T\varepsilon)^2=5(T\varepsilon)^2\geq 0$ であり，任意の $n\geq 0$ に対して式 (5.21) が成立する．

I-b) 式 (5.26) の分子は $9K(n)-(9T\varepsilon-4nq)^2=20(nq)^2\geq 0$ であり $\frac{dp^*(n)}{dn}\geq 0$ が成立する．すなわち，$p^*(n)$ は n に関して単調増加である．ロピタルの定理より $\lim_{n\to 0}p^*(n)=\dfrac{q}{3}$ であり，任意の $n\geq 0$ に対して $p^*(n)$ は正の値をとる．

I-c) $n\to 0$ のときの式 (5.28) の各項を評価する．

$$\lim_{n\to 0}n\Delta(p^*(n))=\frac{3T\varepsilon-2nq-\sqrt{K(n)}}{5\varepsilon}=0$$

より $\lim_{n\to 0}F(n,p^*(n))=0$．ロピタルの定理より

$$\begin{aligned}\lim_{n\to 0}\frac{dp^*(n)}{dn}&=\lim_{n\to 0}\frac{T\varepsilon\left(\sqrt{K(n)}+4nq-9T\varepsilon\right)}{5n^2\sqrt{K(n)}}\\&=\lim_{n\to 0}\frac{2T\varepsilon q}{5n}\frac{6(nq-T\varepsilon)+2\sqrt{K(n)}}{9(T\varepsilon)^2-10T\varepsilon nq+8(nq)^2}=\frac{4q^2}{27T\varepsilon}.\end{aligned}$$

また$\lim_{n\to 0}\dfrac{dF(n,p^*(n))}{dn}=\dfrac{4}{3T\varepsilon}$であり，式(5.28)の第1項は$n\to 0$のとき0に収束する．したがって

$$\lim_{n\to 0} d\Pi(n,p^*(n))/dn=-c$$

が成立．

I-d) 式(5.29)において$d(n\Delta(p^*(n)))/dn$を評価しよう．ここで

$$\frac{d(n\Delta(p^*(n)))}{dn}=\frac{2q}{5\sqrt{K(n)}\varepsilon}\left\{\sqrt{K(n)}+2(T\varepsilon-nq)\right\}$$

であり，$K(n)-4(T\varepsilon-nq)^2=5(T\varepsilon)^2\geq 0$より$\frac{d(n\Delta(p^*(n)))}{dn}\geq 0$が成立する．したがって$\frac{dF(n,p^*(n))}{dn}\geq 0$である．

付録5.II　命題5.2の証明

II-a) 最適運賃(5.38)の内，$\frac{-2(T\varepsilon-nq)-\sqrt{\tilde{K}(n)}}{3n}$は明らかに負であり不適．一方，$\frac{-2(T\varepsilon-nq)+\sqrt{\tilde{K}(n)}}{3n}$に関して$n$についての1階微分をとると

$$\frac{d\tilde{p}^*(n)}{dn}=T\varepsilon\frac{2\sqrt{\tilde{K}(n)}+nq-4T\varepsilon}{3n^2\sqrt{\tilde{K}(n)}} \tag{5.51}$$

となる．上式の分子は$4\tilde{K}(n)-(nq-4T\varepsilon)^2=3(nq)^2\geq 0$なので$\frac{d\tilde{p}^*(n)}{dn}\geq 0$が成立．ロピタルの定理を用いれば$\lim_{n\to 0}\tilde{p}^*(n)=\dfrac{q}{2}$が成立し，条件付き最適運賃$\tilde{p}^*(n)=\frac{-2(T\varepsilon-nq)+\sqrt{\tilde{K}(n)}}{3n}$は任意の$n\geq 0$に対して正の値をとる．運行本数に関する1階の最適化条件は，

$$\frac{d\Pi(n,\tilde{p}^*(n))}{dn}=\alpha\left(\frac{d\tilde{p}^*(n)}{dn}F(n,\tilde{p}^*(n))+\tilde{p}^*(n)\frac{dF(n,\tilde{p}^*(n))}{dn}\right)-c=0$$

で表される．

$$T-n\Delta(n,\tilde{p}^*(n))=\frac{\sqrt{\tilde{K}(n)}-(nq-T\varepsilon)}{3\varepsilon}$$

を評価すれば$\tilde{K}(n)-(nq-T\varepsilon)^2=3(T\varepsilon)^2\geq 0$ であることより，任意の運行本数$n\geq 0$において運行本数に関する制約条件$n\Delta(n,\tilde{p}^*(n))\leq T$は満足される．

II-b) ロピタルの定理より

$$\lim_{n\to 0}\frac{d\tilde{\Pi}(n,\tilde{p}^*(n))}{dn}=\frac{\alpha q^2}{2T\varepsilon}-c \tag{5.52}$$

となる．また$\Pi(0,\tilde{p}^*(0))=0$であるので，$\frac{\alpha q^2}{2T\varepsilon}>c$が成立するとき，利潤$\Pi(n,\tilde{p}^*(n))$は$n=0$の近傍において増加関数であり，正の値をとる．運行本数に関する2階の最適化条件は

$$\frac{d^2\Pi(n,\tilde{p}^*(n))}{dn^2}\frac{2q^2}{9T\varepsilon\{\tilde{K}(n)\}^{\frac{3}{2}}}\left\{13\left(T\varepsilon-\frac{11}{26}nq\right)^2+\frac{87}{52}(nq)^2\right\}\geq 0$$

となる．利潤$\Pi(n,\tilde{p}^*(n))$は運行本数nに関して凹関数となる．さらに，$\lim_{n\to\infty}\tilde{p}^*=q$，$0\leq\tilde{m}(p,\boldsymbol{s}^*(n))\leq\alpha$なので$\lim_{n\to\infty}\tilde{\pi}^*(n)=-\infty$．したがって**命題5.2**が成立する．

参考文献

1) 松島格也，小林潔司：手段補完性を考慮したバス市場構造の分析，土木学会論文集，投稿中.
2) 運輸政策審議会自動車交通部会：運輸政策審議会自動車交通部会論点整理，1997.
3) 枝村俊郎，森津秀夫，松田宏，土井元治：最適バス路線網構成システム，土木学会論文報告集，No.300, pp. 95-107, 1980.
4) 天野光三，銭谷善信，近東信明：都市街路網におけるバス系統の設定計画モデルに関する研究，土木学会論文報告集，No.325, pp.143-154, 1982.
5) 山口隆之，浅野光行：地域特性を考慮したコミュニティバスの導入促進に関する研究，第34回日本都市計画学会学術研究論文集，pp.985-990，1999.
6) 樋口民夫，秋山哲男：コミュニティバス計画のサービス水準の評価に関する研究，第35回日本都市計画学会学術研究論文集，pp.517-522，2000.
7) 中川大，青山吉隆，栗林大輔，小出泰弘：マーケティング手法による転換率モデルを用いたバス交通改善策の効果分析，土木計画学研究・論文集，No.15, pp.721-730, 1998.
8) 渡辺千賀恵：運賃値上げからみたバス離れ機構の実証的研究，土木学会論文集，No.413/IV-12, pp.97-106, 1990.
9) 高山純一，宮崎耕輔：バスダイヤを考慮した最適バス路線網再編計画策定に関する研究，土木計画学研究・論文集, No.13, pp.827-836, 1996.
10) Savage, I.: *The Deregulation of Bus Services*, Gower: Aldershot, 1985.
11) Mackie, P. and J. Preston: *The Local Bus Market, A Case Study of Regulatory Change*, Gower: Aldershot, 1996.
12) Ellis, C.J. and E.C.D. Silva: British Bus Deregulation: Competition and Demand Coordination, *Journal of Urban Economics*, Vol.43, pp.336-361, 1998.
13) Palma, A. and R. Lindsey: Optimal Timetables for Public Transportation, *Transportation Research*, Part B., Vol.35, pp.789-813, 2001.
14) 柳沢吉保，高山純一：運行管理コストと利用者コストのトレードオフを考慮した循環バスシステムの最適化，第36回日本都市計画学会学術研究論文集，pp.595-600, 2001.
15) 小林潔司，福山敬，秀島栄三，藤井信行：過疎地域におけるバスサービスの最適維持方策に関する研究，土木学会論文集，No.611/IV-42, pp.45-56, 1999.
16) 土木計画学研究委員会バス問題研究小委員会（小委員長：喜多秀行）の研究成果を参照.
17) Kitamura, R., S. Nakayama and T. Yamamoto: Self-reinforcing Motorization: Can Travel Demand Management Take Us out of the Social Trap?, *Transport Policy*, Vol.6, pp.135-145, 1999.
18) 例えば，藤田昌久：空間経済システムの自己組織化と発展について，大山道広他編：現代経済学の潮流1996，東洋経済新報社，1996.

19) 松島格也，小林潔司: タクシー・サービスのスポット市場均衡に関する研究，土木計画学研究・論文集, No.16, pp.591-600, 1999.

20) Cooper, R.W.: *Coordination Games: Complementarities and Macroeconomics*, Cambridge University Press, 1999.

21) Howitt, P.W.:*The Keynesian Recovery*, Prentice Hall, 1990.

22) Howitt, P.W. and R.P. McAfee: Costly Search and Recruiting, *International Economic Review*, Vol.28, pp.141-147, 1987.

23) Arthur, W.B.: *Increasing Returns and Path Dependence in the Economy*, The University of Michigan Press, 1994.

6 結論

これまでの交通行動に関する研究は，ある個人の行動をモデル化し，それを集計化するという方法論的個人主義の立場に立って行われてきた．そこでは個人の交通行動はそれぞれに独立に表現されるにとどまっており，個人間の意思決定の相互作用は考慮されていない．業務交通や私的なトリップにおいて，交通トリップを生成させることの目的は他の主体とコミュニケーションを行うことにある．ミーティングを通じたコミュニケーションを行うためには事前にミーティング形成に対する合意形成を行う必要がある．したがって個人は自分一人の意思のみで交通行動を実施することは出来ない．本論文では，個人間の意思決定の相互作用を考慮したマッチングを表現する均衡モデルを構築した．ミーティング形成に伴う意思決定の相互作用が存在する状況下では，市場均衡の結果は通常パレート効率的ではなく，市場の失敗が生じうる．すなわち，個人の交通行動に関する意思決定に他人の意思決定が関与する場合，実現する交通行動の均衡状態は必ずしもパレート最適にはならない．

もっとも根元的な交通は交通行動を実施したいと考える主体が，自ら生産した交通サービスを消費するものである．社会の進展とともに，交通サービスを消費する意思を持つ複数の主体に対して交通サービスを提供する公共交通が登場する．不特定多数の主体が利用する公共交通においては，交通を行いたいと考える時刻や利用したい市場の場所などについて利用する主体間において利害の対立が生じうる．個々の主体同士で交通に対する利害の調整を行うことは多大な取引費用を必要とするため現実的ではない．そこで利害の調整を行う公共主体（政府）の役割が重要となる．公共交通のもつ公共性は利害の異なる主体間のマッチング（coordination）を行う機能に存在する．公共交通機関の成立可能性にも個人間の意思決定のマッチングが非常に重要な役割を果たすことになる．

以上のような背景のもと，本論文では個人間の意思決定の相互作用を考慮した市場均衡モデルを構築し，マッチングの派生需要として生じる交通に関する諸問題を分析した．以下では，改めて各章で行った分析とそこから得られた成果を整理する．

１章では，交通行動におけるマッチングの重要性と個人間の意思決定の相互作用から生じる外部性について整理した．はじめに，異なる選好を持つ複数の需要間の調整を行うマッチングの派生需要としてとしての交通トリップや，交通サービスを消費する主体と交通サービスを供給する主体とが 1 対 1 でマッチングされることにより成立する交通トリップが存在することを指摘した．また，異なる主体間のマッチングか同一主体内のマッチングかに関する軸と，マッチングに対する需要を時間的に調整するか空間的に調整するかに関する軸を提案し，交通行動に関連するマッチングを分類した．さらに，マッチングが成立するためには参加する主体の合意形成が必要であることに着目すると，マッチング成立の結果として生じる交通行動には市場の失敗が生じうる．マッチングに関わる市場の失敗として，混雑や市場厚の外部性，手段補完性や固定費用に伴う規模の経済性をとりあげ，その特徴について説明した．マッチングに関わるこれらの外部性は交通市場構造の分析にあたって本質的な役割を果たす．また個人の戦略が他者の戦略の変化により変化しうるという戦略的相補性（代替性）の考え方に着目した．戦略的相補性の存在により，交通

市場において市場が内生的に形成される可能性があることを指摘した．交通市場における市場の失敗を解決するための手段として，課税や情報提供，複数均衡解間の移行，市場構造の変化という方法を提示した．

２章では，一人の個人と一人の個人との間で行われるミーティングに着目し，個人間のフェイス・ツゥ・フェイスのコミュニケーションが，個人がミーティングを行う相手を求めて探索を行うマッチング過程と，ミーティングを行うかどうかを判断する合意形成過程により構成できることを指摘した．このミーティングより生じる交通トリップは，交通サービスを消費したいと考える主体が自ら生産した交通サービスを消費するものであり，交通トリップ生成の最も根元的な形式である．ミーティングに参加する全ての主体が同意しない限りミーティングやミーティング開催に伴う交通トリップ生成は行われず，個人間の合意形成がトリップの生成のための重要な鍵となっていることが示された．さらに個人のミーティング行動をベルマンの最適性原理を用いて表現した．都市内において長期的な定常状態において実現するミーティング均衡を，多くの主体による非協力的な動的課程における合理的期待均衡として定義した．このミーティング均衡においては，個人のミーティング頻度が高くなるとミーティング相手を探索するための情報費用が高くなるという混雑と，個人がミーティング過程においてより大きな効用を得る相手と出会う確率が減少するという市場薄の外部性という，２つの外部性が生じることを示した．またミーティング均衡に関する比較静学分析を通じて，交通施設整備は必ず個人の効用を上昇させるものの，交通量を増加させるとは限らないことを示した．これは交通需要の変化のみに着目して交通施設の整備便益を評価することは，便益の過小評価につながることを示唆している．

３章では，異質な個人が参加するコミュニケーション家庭を分析した．ミーティング相手に対する異なる選好を持つ個人が存在する場合，自らミーティングを行いたいと望む相手と必ずしもマッチングされないという，調整の失敗が生じうることを指摘した．ミーティング相手の探索過程と合意形成過程より構成されるコミュニケーションにおけるミーティング均衡では，個人の異質性が存在するために相手のタイプに関する情報の利用可能性が本質的な役割を果たす．異なる選好を有する個人が進化論的に安定的なミーティング戦略を有する様なミーティング均衡を，情報が利用できない場合の合同均衡，完全情報が利用可能な場合の分離均衡としてモデル化した．市場均衡に関する分析を行った結果，タイプに関する情報提供はミクロレベルの個人の探索行動を効率化するものの，マクロな自然淘汰の結果生じるミーティング均衡の非効率性の問題を解決することは出来ないことを示した．複数均衡が存在する状況下でパレート非効率な均衡に陥る状況を防ぐためには，相手のタイプに対する情報を提供するだけでは不十分であり，複数均衡間の移動のためには，コミュニケーション戦略の自然淘汰の様式を制御する政策が必要となることを指摘した．

以上では個人間のコミュニケーションを行うために生じたマッチングの結果，コミュニケーションを行う個人が自ら移動を行う交通を考えた．しかし交通サービス消費に対する多くの需要が存在する場合には，交通サービスを供給する主体と消費する主体とが異なる方がより望ましい場合も考えられる．その場合には個別に交通サービスを消費するよりも，交通トリップを生成させる意思を持つ複数の個人に対して一括して交通サービスを提供する方が望ましいだろう．複数の主体の交通トリップ生成に関する利害を直接当

事者間で調整するためには多大な取引費用を必要とする．政府の持つ大きな役割の一つは，異なる利害を持つ個人間の調整をおこなうことである．４章以降では交通サービスを消費する意思を持つ主体と，交通サービスを提供する主体とが異なる場合の交通をとりあげた．

４章では，交通行動を実施する個別の個人と交通サービスを供給する主体とを１対１でマッチングさせることにより生成する交通を対象とした分析を行った．具体的な事例としてタクシー市場をとりあげ，都市内に設けられたタクシー乗り場という局所的なスポット市場で発生するタクシーと乗客の市場取引を分析した．このようなスポット市場には，不完全な憶測と取引費用の存在が原因となる市場厚の外部性が存在する．本章ではこのような需要側と供給側との間で取引が行われるマッチングを表現する市場均衡モデルを提案し，スポット市場が内生的に形成されるメカニズムについて分析した．市場厚の外部性が働く場合サービスに対する需要と供給が増加すれば，さらに多くの乗客やタクシーが市場参入するというポジティブなフィードバックが働き，その結果として複数の均衡解が生じる可能性が存在することを指摘した．また複数均衡解が存在する場合には均衡間の移動を制御する政策が必要であることを示した．

４章の後半では異質な乗客と異質なタクシーとが存在するもとで達成される市場均衡について分析した．異質な主体を考慮した場合，市場参加者の増加に伴い取引が効率化する市場厚の外部性と，選好が異なる乗客とタクシーがマッチングされるというミスマッチングの外部性とが働くことに着目した．ミスマッチングの外部性とは，タクシーと乗客の間に双方向の情報の非対称性が存在するために，タクシーと乗客が互いに望むタイプと適切にマッチングされないという取引の非効率性を指す．ミスマッチングの外部性が存在するために，特定のタイプのタクシーが市場を占拠したり，タクシーの走行費用が増加したりする現象が生じうる．市場厚の外部性とミスマッチングの外部性を同時に考慮した市場均衡モデルを定式化した．その上で異質なタクシーと乗客が混在するプーリング市場と，タクシーや乗客のタイプにより市場が差別化された分離市場とを対象として，市場均衡のメカニズムや市場の差別化施策が社会的厚生に及ぼす影響を分析した．その結果より，プーリング均衡では特定のタイプのタクシーが市場を占拠する可能性があること，市場差別化政策はタクシーの行動とは誘因整合的であるが乗客の行動とは非整合的であり運賃規制を導入する必要があることが判明した．市場厚の外部性とミスマッチングの外部性が共に働く市場では市場差別化政策の導入にあたって慎重な検討が必要であることを示した．

５章では，交通サービスを消費する意思を持つ複数主体をとりまとめて，交通サービスを一括して供給することにより実施される交通トリップに着目した．具体的な事例としてバス交通市場をとりあげ，複数の交通行動に対する需要をもつ主体と単一のサービスを提供する供給主体とのマッチングとして表れる交通を分析した．バス市場においては往路と復路のトリップにおいて，一方のトリップにおける交通手段選択の結果がもう一方のトリップの手段選択に制約条件として機能するメカニズムが働くことを指摘した．すなわち往路と復路の交通手段選択をマッチングさせる際に生じる手段補完性という概念に着目した．固定費用や手段補完性の存在がバス市場におけるポジティブフィードバックの原因となることを明らかにした．本章の分析を通じた一つの重要な知見は，家計のバス選択行動に手段補完性が存在する場合，家計の選好が同質であっても規模の経済性が働き，複数の市場均衡解が存在する可能性があることを示した点にある．

さらに交通手段の代替化施策の導入が市場均衡の効率性に及ぼす影響を分析した結果，代替化施策の導入は複数均衡解を解消する可能性があることを示した．代替化施策の導入は市場構造自体を変えることで外部性を取り除く効果を持つ．一方で代替化戦略の導入は企業のサービス提供水準の低下を通じて利潤の増加をもたらすため，代替化施策の導入にあたってはあわせて消費者余剰を大きくするように運賃や本数の規制を行う必要があることを指摘した．

本論文を通じて提案した交通市場メカニズムの分析は，すべて生成する交通トリップの要因となる様々なマッチングに焦点をあてたものである．交通市場に参加する様々な主体間，主体内のマッチングに焦点をあてた市場均衡モデルを構築することにより，これまでほとんど考慮されてこなかった個人間の意思決定の相互作用を考慮したモデル化が可能となる．交通行動における個人間の意思決定の相互作用を考慮することにより，交通行動モデリングに関する新しい方法論を開発できる可能性がある．

本論文ではさらにマッチングを考慮した市場均衡において生じる，交通トリップ生成に関連して生じる市場の失敗を指摘すると共に，その解決法に関する検討を行っている．本論文で説明した外部性は交通市場のメカニズムを規定する要因となっている．現在各地で行われている交通に関する需要管理施策は，市場において生じている外部性の補正という観点からその効果を分析する必要がある．個人間の相互作用の結果生成する交通を管理するためには，本論文で述べた外部性を適切に制御する必要があろう．

各章末においても指摘したが，本論文で行った市場メカニズムの分析を現実の交通政策に活用するためには，実証分析を行うことが必要である．本論文で提案した理論モデルはマッチングに伴う外部性を説明することで大きな役割を果たしているが，これまでの交通行動分析では取り上げられなかった新しい概念を用いているため，実証分析の実施にあたっては推計可能なモデルの構築と必要なデータセットの収集という二つの課題を乗り越える必要がある．本論文で説明したマッチングモデルを推計するために必要な新たなデータ収集の方法論を確立する必要がある．もしこの課題を克服することにより本論文で提案した理論モデルが現実のデータにより検証されれば，個人間の意思決定の相互作用を考慮した交通行動モデルの開発を通じて交通行動分析における新たな方法論を提案することが可能となろう．今後は，交通トリップ生成に関する残されたマッチングメカニズムの分析を行うための理論的研究を進めると共に，実証分析に耐えうるモデルの開発とデータ収集の方法論の提案を行う必要がある．

本論文においてこれまでとりまとめた一連の研究を通じて，個人間の意思決定の相互作用を考慮した新しい交通行動分析の方法論の開発に向けて重要な一歩を記すことができたといえる．

謝　辞

本論文を結ぶにあたり，本研究を遂行する上でご指導やご協力をいただいた方々に感謝の意を表したい．

京都大学大学院工学研究科小林潔司教授には，筆者が大学院修士課程に研究室に配属されて以降終始温かいご指導とご鞭撻をいただいた．小林教授からは社会問題に対する観察眼や経済学的視点による理論分析の基礎を学ぶと共に，研究者としての基礎的な素養をお教えいただいた．さらに本研究の構想から遂行にわたって常に情熱をもって導いていただいた．小林教授の博学な知識に裏付けされた熱心なご指導は筆者が研究の道へ進むきっかけとなった．ここに深甚なる感謝の意を表します．

京都大学大学院工学研究科飯田恭敬教授ならびに谷口栄一教授には，卒業論文のご指導をいただくと共に本論文作成に対して適切な助言をいただいた．ここに厚くお礼を申し上げる．

京都大学防災研究所多々納裕一教授には，日頃より研究の推進方法からモデル構築に対するヒントにいたるまで，常に親身になって相談に乗って頂くと共に適切なご助言を賜った．東北大学大学院情報科学研究科福山敬助教授には，ゲーム理論に関する基礎知識を始めとして様々なご指導・ご助言をいただいた．特に本論文の２章及び３章における分析については福山助教授のご助力なしでは遂行することが出来なかった．ここに深く感謝いたします．

名古屋工業大学工学部秀島栄三助教授には，筆者が学部４回生の頃より研究面及び生活面双方において温かいご指導をいただいた．京都大学大学院工学研究科倉内文孝助手には，卒業論文の研究の進め方に関するご助言や助手の先輩としてのアドバイスをいただいた．広島大学工学部奥村誠助教授，京都大学大学院経済学研究科文世一助教授，東京工業大学大学院上田孝行助教授には私的な研究会や学会の場などにおいて，終始適切なご助言やご指導をいただいた．ここに深謝いたします．

京都大学大学院工学研究科土木工学専攻計画プロセス論講座（現・都市社会工学専攻計画マネジメント論講座）の諸先輩方・諸兄には多くの貴重なご意見をいただくと共に，研究遂行にご協力をいただいた．横松宗太氏（現鳥取大学工学部）には研究上の良きライバルとして大いなる刺激を受けた．また本論文の４章における分析においては坂口潤一氏（現日本IBM）に多大なる協力をいただいた．心より感謝いたします．

ここに記しきれない多くの方々のご支援によってはじめて本研究がなされたことを明記し，深く感謝いたします．